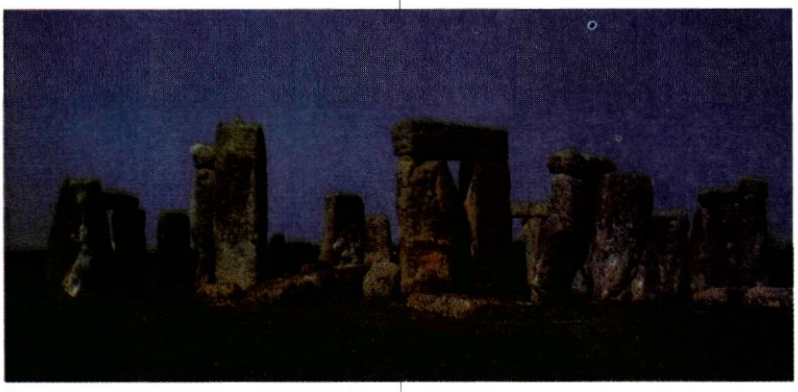
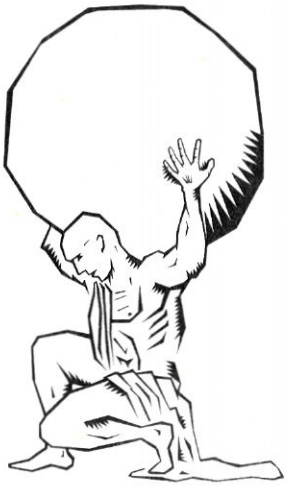
Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ





ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

«Πιστεύω ότι η μελέτη του Σύμπαντος πρέπει να τοποθετηθεί στην πρώτη θέση ανάμεσα σε όλα τα φυσικά φαινόμενα που μπορούν να κατανοηθούν, γιατί έρχεται πριν απ' όλα τ' άλλα σε μεγαλείο, εξαιτίας του παγκόσμιου χαρακτήρα της, και πρέπει επίσης να βρίσκεται πάνω απ' όλα σαν η αρχή και το στήριγμά της»

Από την αφιέρωση στο βιβλίο του Γαλιλαίου «Διάλογοι γύρω από τα Κύρια Συστήματα του Κόσμου» Φλωρεντία, 1632.

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Η δίψα του ανθρώπου για την κατανόηση του Σύμπαντος είναι ίσως τόσο παλαιά, όσο και η παρουσία του πάνω στη Γη. Ο άνθρωπος από την αρχή της εμφάνισής του στη Γη παρατηρούσε συνέχεια τον ουρανό. Η ανατολή και η δύση του Ηλίου, οι φάσεις της Σελήνης, η εναλλαγή των εποχών, η εμφάνιση των κομητών, οι εκλείψεις του Ηλίου και της Σελήνης, η κίνηση των πλανητών στον έναστρο ουρανό υπήρξαν μερικά από τα φαινόμενα που ώθησαν τον άνθρωπο στη συστηματική παρατήρηση του ουρανού. Υπήρξαν ακόμη και άλλα φαινόμενα στο άμεσο φυσικό περιβάλλον του, όπως π.χ. η ανάπτυξη των φυτών και των δένδρων κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι και η λανθάνουσα κατάστασή τους το φθινόπωρο και το χειμώνα, που κίνησαν το ενδιαφέρον του. Πολύ γρήγορα διαπίστωσε την ανάγκη καθιέρωσης ενός είδους ημερολογίου για την εξυπηρέτηση καθαρά πρακτικών αναγκών. Έτσι έγινε η αρχή για τη γένεση της Αστρονομίας, η οποία άρχισε σιγά σιγά να αναπτύσσεται, για να εξελιχθεί αργότερα σε επιστήμη που έχει ως αντικείμενο τη μελέτη των ουρανίων σωμάτων και φαινομένων.

Η Αστρονομία γεννημένη από την ανικανοποίητη ανάγκη του ανθρώπου για την κατανόηση του Σύμπαντος προσπαθούσε πάντοτε να δώσει απαντήσεις σε ερωτήματα που υπερέβαιναν τις εκάστοτε δυνατότητες της ανθρώπινης τεχνικής και διανόησης. Ας μη ξεχνάμε ότι είμαστε εφήμερα όντα ενός μικροσκοπικού πλανήτη γύρω από ένα κοινό άστρο στα περίχωρα ενός κοινού γαλαξία, που είναι μέλος ενός κοινού σμήνους γαλαξιών κάπου μέσα στην απεραντοσύνη του Σύμπαντος.

Η Αστρονομία είναι η αρχαιότερη απ' όλες τις επιστήμες. Εμφανίστηκε την 4η χιλιετηρίδα π.Χ. με την ανάπτυξη των αρχαίων πολιτισμών στη Μεσοποταμία, την Αίγυπτο, την Ινδία και την Κίνα. Όλοι αυτοί οι πολιτισμοί είχαν δημιουργήσει ημερολόγια, ήξεραν να ξεχωρίζουν τους αστερισμούς, παρατηρούσαν τις εκλείψεις του Ηλίου και της Σελήνης και έδιναν κοσμολογικές εξηγήσεις στις παρατηρήσεις τους. Στην Αμερική οι πολιτισμοί των Ίνκας, των Μάγιας και των Αζτέκων είχαν επίσης δημιουργήσει σημαντικά επιτεύγματα, όπως, για παράδειγμα, το ημερολόγιο των Μάγιας που, αν και στηριζόταν σε πολύ πρωτόγονες μεθόδους, είχε σημαντική ακρίβεια. Τα πιο παλαιά όμως και πιο γνωστά μνημεία αστρονομικού ενδιαφέροντος, ηλικίας περίπου 5.000 ετών, είναι οι πυραμίδες της Αιγύπτου και το Στόνχετζ (Stonehenge) στην Αγγλία. Είναι μνημεία, των οποίων ο προσανατολισμός σχετίζεται άμεσα με αστρονομικά φαινόμενα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πρώτες παρατηρήσεις του ουρανού ερμηνεύονταν αστρολογικά. Η Αστρολογία (από το άστρο + λόγος) βασίζεται πάνω στην ιδέα (πίστη) ότι τα διάφορα ουράνια σώματα και φαινόμενα έχουν σημαντική επίδραση σε γεγονότα πάνω στη Γη (πόλεμοι, πλημμύρες, σεισμοί, επιδημίες), ακόμη και στη ζωή και το πεπρωμένο των ανθρώπων. Με την πάροδο των ετών, οι αστρονομικές παρατηρήσεις έγιναν ακριβέστερες και οδήγησαν σε μετρήσεις μεγάλης ακρίβειας με αξιοσημείωτη πρόοδο στην κατανόηση των αστρονομικών φαινομένων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τον πλήρη διαχωρισμό της επιστήμης της Αστρονομίας από την Αστρολογία. Η τελευταία δε χρησιμοποιεί επιστημονικές μεθόδους, για να ερμηνεύσει τα «φαινόμενα» που διατείνεται ότι μελετά.

Η ανάπτυξη όμως της Αστρονομίας ως επιστήμης άρχισε στην αρχαία Ελλάδα από την εποχή του Θαλή, το 600 π.Χ. περίπου. Οι αρχαίοι Έλληνες δεν ήταν επιστήμονες με τη σύγχρονη έννοια του όρου. Η έρευνά τους αφορούσε μόνο τη διατύπωση ιδεών και νόμων για την ερμηνεία των παρατηρούμενων αστρονομικών φαινομένων. Από τους πιο σημαντικούς αρχαίους Έλληνες φιλοσόφους, που η σκέψη τους διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της Αστρονομίας ως επιστήμης, αναφέρουμε τον Πλάτωνα (427-347 π.Χ.), τον Αριστοτέλη (384-322 π.Χ.), τον Ηρακλείδη (375-310 π.Χ.) και τον Πυθαγόρα (πέθανε το 497 π.Χ.). Πραγματική πρόοδος όμως στην Αστρονομία έγινε μετά τον Αριστοτέλη με τη συμβολή των μεγάλων αστρονόμων της Ελληνιστικής αρχαιότητας, του Αρίσταρχου (310-230 π.Χ.), του Ερατοσθένη (276-195 π.Χ.), του Ίππαρχου (2ος αιώνας π.Χ.) και αργότερα του Πτολεμαίου (2ος αιώνας μ.Χ.). Οι δύο τελευταίοι θεωρούνται οι σπουδαιότεροι αστρονόμοι της Ελληνιστικής περιόδου.

Οι θεωρίες που διατυπώθηκαν από τους αρχαίους Έλληνες για το μέχρι τότε γνωστό Σύμπαν ήταν δύο: Η ηλιοκεντρική θεωρία του Αρίσταρχου, που θεωρούσε ότι ο Ήλιος είναι στο κέντρο του Σύμπαντος, και η γεωκεντρική του Ίππαρχου και του Πτολεμαίου, που θεωρούσε ότι η Γη ήταν στο κέντρο του Σύμπαντος και ίσχυσε μέχρι το 17ο αιώνα. Η θεωρία του Πτολεμαίου διασώθηκε ως «Πτολεμαϊκό σύστημα» στο μνημειώδες έργο του «Μεγάλη Μαθηματική Σύνταξη» (Αλμαγέστ). Η ηλιοκεντρική θεωρία ξαναβγήκε στην επιφάνεια τον 16ο αιώνα από τον Πολωνό αστρονόμο Κοπέρνικο.

Στους επόμενους 13 αιώνες μετά τον Πτολεμαίο αξιοσημείωτη ήταν η συμβολή των Αράβων και των Ινδών. Οι Ινδοί έκαναν αξιόπιστες παρατηρήσεις για τον προσδιορισμό της απόστασης της Σελήνης από τη Γη και της ακτίνας της Γης. Οι Άραβες βοήθησαν να υπάρξει συνέχεια από την Αστρονομία των αρχαίων Ελλήνων στη σύγχρονη αστρονομική σκέψη της Αναγέννησης.

Η μεγάλη επανάσταση στην Αστρονομία έγινε το 16ο αιώνα στην Ευρώπη από τον Κοπέρνικο (1473-1543). Στην εργασία του De Revolutionibus Orbium Coelestium (Περί της περιφοράς των ουρανίων σωμάτων), που δημοσιεύτηκε το 1543, επαναδιατύπωσε τη θεωρία του ηλιοκεντρικού συστήματος. Σύμφωνα με αυτή, ο Ήλιος βρίσκεται στο κέντρο του ηλιακού συστήματος, που αποτελούσε και το μέχρι τότε γνωστό Σύμπαν. Για να ερμηνεύσει τις κινήσεις των πλανητών διατήρησε πολλά από τα στοιχεία του Πτολεμαϊκού συστήματος.

Μετά τον Κοπέρνικο, ο Δανός αστρονόμος Τύχο Μπραχέ (Tycho Brahé) (1546-1601) ήταν ο πρώτος αστρονόμος που έκανε αστρονομικές παρατηρήσεις χρησιμοποιώντας όργανα που κατασκεύασε ο ίδιος. Έκανε ακριβείς παρατηρήσεις των θέσεων των πλανητών και ορισμένων αστέρων. Στις παρατηρήσεις του Tycho Brahé στηρίχθηκε ο Κέπλερ (Johannes Kepler) (1571-1630), για να διατυπώσει εμπειρικά τους νόμους της κίνησης των πλανητών γύρω από τον Ήλιο.

Η ανακάλυψη του τηλεσκοπίου στην Ολλανδία στις αρχές του 17ου αιώνα και η χρησιμοποίησή του στην Ιταλία το 1609 είχε σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη της Αστρονομίας. Ο Γαλιλαίος (1564-1642) ήταν εκείνος που χρησιμοποίησε πρώτος το αστρονομικό τηλεσκόπιο, με το οποίο παρατήρησε αντικείμενα που δεν ήταν ορατά με γυμνό μάτι. Παρατήρησε τον Ήλιο, τη Σελήνη, τους δορυφόρους του Δία και τις φάσεις της Αφροδίτης. Αργότερα, με τη χρησιμοποίηση ισχυρότερων τηλεσκοπίων, έγινε δυνατό να καθοριστούν με ακρίβεια οι θέσεις των πλανητών και κομητών. Τέτοιες παρατηρήσεις οδήγησαν τους μαθηματικούς αστρονόμους να μελετήσουν τις κινήσεις των ουράνιων σωμάτων και να διατυπώσουν τους θεμελιώδεις νόμους των κινήσεων αυτών. Ο πλέον σημαντικός είναι ο Νεύτων (Isaac Newton) (1642-1727), ο οποίος με το νόμο της παγκόσμιας έλξης έδωσε τη θεωρητική ερμηνεία των νόμων του Κέπλερ και θεμελίωσε την Ουράνια Μηχανική.

Κατά τη διάρκεια του 18ου και 19ου αιώνα οι παρατηρήσεις συνεχίστηκαν με οπτικά τηλεσκόπια και ήταν κατά κύριο λόγο αφιερωμένες στα μέλη του ηλιακού συστήματος. Ήδη από τα μέσα του 19ου αιώνα χρησιμοποιήθηκαν μαζί με τα τηλεσκόπια και άλλα βοηθητικά όργανα και εφαρμόστηκαν άλλες μέθοδοι παρατήρησης (όπως φωτογραφική και φωτοηλεκτρική). Έτσι, δόθηκε η δυνατότητα να γίνουν παρατηρήσεις όχι μόνο των θέσεων και κινή-

σεων των ουρανίων σωμάτων, αλλά και της ακτινοβολίας που εκπέμπουν. Οι παρατηρήσεις στην οπτική περιοχή του φάσματος (περιοχή ευαισθησίας του ανθρώπινου ματιού) ήταν οι μόνες παρατηρήσεις μέχρι τα μέσα του 20ού αιώνα. Τότε άρχισαν να γίνονται και παρατηρήσεις στα ραδιοκύματα με τη βοήθεια των ραδιοτηλεσκοπίων που κατασκευάστηκαν μετά το 2ο παγκόσμιο πόλεμο.

Με την επινόηση και κατασκευή νέων συσκευών και ανιχνευτών και την τοποθέτηση δορυφόρων σε τροχιά γύρω από τη Γη άρχισε μια νέα εποχή για την Αστρονομία. Με τη βοήθεια τέτοιων δορυφόρων, εφοδιασμένων με σύγχρονα τηλεσκόπια και ανιχνευτές, είναι δυνατό να κάνουμε παρατηρήσεις σε όλες τις περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, από τα ραδιοκύματα μέχρι τις ακτίνες Χ και γ. Έτσι, μπορούμε να έχουμε πλήρη εικόνα των παρατηρούμενων ουράνιων αντικειμένων και να εισχωρούμε χάρη στα ισχυρά τηλεσκόπια στα απώτερα σημεία του Σύμπαντος. Πρέπει ακόμη να αναφέρουμε ότι η Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν μας έδωσε τη δυνατότητα να δούμε μέσα από νέο πρίσμα τη δομή και εξέλιξη του Σύμπαντος. Προς την ίδια κατεύθυνση κινούνται και οι νεότερες θεωρίες που αποβλέπουν στην ενοποίηση των δυνάμεων της Φύσεως.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ

Αστρονομία είναι γενικά η επιστήμη που μελετά το Σύμπαν. Ένας αυστηρότερος ορισμός καθορίζει ότι Αστρονομία είναι η επιστήμη που μελετά τα αντικείμενα πέρα από τη γήινη ατμόσφαιρα καθώς και τις διαδικασίες αλληλεπίδρασης μεταξύ τους. Η μελέτη αυτή περιλαμβάνει και την κατανομή της ύλης και της ενέργειας στο Σύμπαν με σκοπό την κατανόηση της φύσης του, της προέλευσης και της εξέλιξής του. Ο αστρονόμος, από ανάγκη, εξετάζει τα ουράνια αντικείμενα από μακριά και προσπαθεί να «φέρει» ολόκληρο τον κόσμο στο εργαστήριό του. Εκτός από ορισμένες περιπτώσεις, όπως η έρευνα της Σελήνης και των γειτονικών στη Γη πλανητών που έγινε χάρη στη διαστημική τεχνολογία, ο αστρονόμος δεν έχει άμεση επαφή με το αντικείμενο της έρευνάς του. Η μόνη πηγή πληροφοριών που υπάρχει για τα ουράνια σώματα πέρα από το ηλιακό μας σύστημα είναι οι κάθε είδους ακτινοβολίες που εκπέμπονται από αυτά. Οι ακτινοβολίες αυτές μετά από ταξίδι χιλιάδων, εκατομμυρίων ή και δισεκατομμυρίων ετών φθάνουν στην επιφάνεια της Γης, όπου συλλέγονται και μελετώνται παρέχοντας πλήθος πληροφοριών τόσο για τις πηγές απ' όπου προήλθαν, όσο και για το μεσοαστρικό χώρο απ' όπου πέρασαν.

Για τη μελέτη αυτή η Αστρονομία συνεργάζεται με άλλες επιστήμες, όπως η Φυσική, τα Μαθηματικά, η Χημεία, η Βιολογία και η Πληροφορική. Οι επιστήμες αυτές συνέβαλαν ουσιαστικά στην επίλυση ορισμένων θεωρητικών προβλημάτων της Αστρονομίας και στη χρησιμοποίηση νέων οργάνων και μεθόδων για τη μελέτη της αστρικής ακτινοβολίας. Τα μικρά βήματα στην εξερεύνηση του Διαστήματος έχουν γίνει χάρη στη νέα τεχνολογία και την ανάπτυξη της Διαστημικής επιστήμης.

Η Αστρονομία, αν λάβουμε υπόψη τον τρόπο μελέτης που εφαρμόζει, μπορεί να χωριστεί σε δύο βασικούς κλάδους: Την **Παρατηρησιακή Αστρονομία**, που έχει αντικείμενο την παρατήρηση των ουράνιων σωμάτων και φαινομένων και χρησιμοποιεί ως βασικά όργανα τα κάθε είδους τηλεσκόπια και τις αντίστοιχες βοηθητικές συσκευές. Τη **Θεωρητική Αστρονομία**, που ασχολείται με τη θεωρητική ερμηνεία των αστροφυσικών φαινομένων κατασκευάζοντας αντίστοιχα θεωρητικά μοντέλα και χρησιμοποιώντας μόνο ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Με τη χρήση οργάνων (όπως φωτόμετρα, φασματογράφοι, κ.ά.) για την ανάλυση και μελέτη της ακτινοβολίας των ουράνιων σωμάτων, άρχισε να χρησιμοποιείται ένας καινούργιος όρος για τον κλάδο της Αστρονομίας, στο πλαίσιο του οποίου γίνονται τέτοιες μελέτες. Ο κλάδος αυτός ονομάζεται **Αστροφυσική** και αντικείμενό της είναι η μελέτη της φυσικοχημικής δομής των αστέρων και αστρικών συστημάτων σε αντιδιαστολή με τη **(Μαθηματική) Αστρονομία**, που έχει αντικείμενό της τη μελέτη της θέσης, της κίνησης και της κατανομής των αστέρων και άλλων αντικειμένων στο Σύμπαν. Πρέπει όμως να τονιστεί ότι η διάκριση μεταξύ Αστρονομίας και Αστροφυσικής δεν είναι σαφής και πολλοί αστρονόμοι είναι και αστροφυσικοί, και αντιστρόφως.

Μέχρι τα μέσα του 20ού αιώνα οι παρατηρήσεις των ουράνιων σωμάτων γίνονταν μόνο στην οπτική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Με την κατασκευή των ραδιοτηλεσκοπίων οι παρατηρήσεις επεκτάθηκαν και στην περιοχή των ραδιοκυμάτων. Σήμερα, με τη ραγδαία ανάπτυξη της διαστημικής τεχνολογίας και την τοποθέτηση δορυφόρων και διαστημικών συσκευών στο διάστημα, είναι δυνατή η παρατήρηση και στις άλλες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Έτσι, ανάλογα με τη φασματική περιοχή όπου γίνονται οι παρατηρήσεις, αναπτύχθηκαν σε αυτοδύναμους κλάδους η **Ραδιοαστρονομία**, η **Αστρονομία του Υπερύθρου**, η **Αστρονομία του Υπεριώδους** και η **Αστρονομία των ακτίνων Χ και γ**. Τέλος, ένας ιδιαίτερος κλάδος της Αστρονομίας, που ασχολείται με τη μελέτη της δομής και εξέλιξης του Σύμπαντος, είναι η **Κοσμολογία**.

1.3 ΤΑ ΜΕΓΑΛΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Η Αστρονομία, αν και θεωρείται από πολλούς η αρχαιότερη από τις επιστήμες, εντούτοις σήμερα είναι ένα από τα πιο συναρπαστικά και ταχέως αναπτυσσόμενα πεδία της γνώσης. Σε κάθε περιοχή του Σύμπαντος, από το δικό μας ηλιακό σύστημα και το Γαλαξία, έως τα πιο μακρινά σημεία του, έχουμε συλλέξει αρκετές πληροφορίες και έχουμε ανάλογα πετύχει μερική κατανόηση της φύσης τους. Όπως όμως συμβαίνει πάντα στην επιστήμη, από κάθε απάντηση που δίνουμε σε ένα συγκεκριμένο ερώτημα προκύπτει ένα πλήθος νέων ερωτημάτων. Είναι γεγονός ότι γνωρίζουμε αρκετά πράγματα για τον κόσμο που μας περιβάλλει, είναι όμως πολύ περισσότερα τα ερωτήματα εκείνα που μένουν ακόμα αναπάντητα. Για παράδειγμα, μερικά κεντρικά και θεμελιώδη ερωτήματα που απασχολούν σήμερα την Αστρονομία-Αστροφυσική είναι και τα ακόλουθα:

- Πώς δημιουργήθηκε και εξελίχτηκε το Σύμπαν στα πρώτα κλάσματα του δευτερολέπτου; Ποιο είναι το μέλλον του Σύμπαντος;

- Πώς σχηματίστηκαν οι γαλαξίες και τα σμήνη γαλαξιών και πώς εξελίχθηκαν στις σημερινές τους μορφές;

- Θα χρειαστούμε νέους νόμους της Φυσικής για την εξήγηση των παρατηρούμενων αστρονομικών φαινομένων;

- Πώς καταρρέουν τα άστρα με μεγάλες μάζες ή οι γαλαξίες, για να σχηματιστούν μελανές οπές, ελευθερώνοντας τεράστια ποσά ενέργειας;

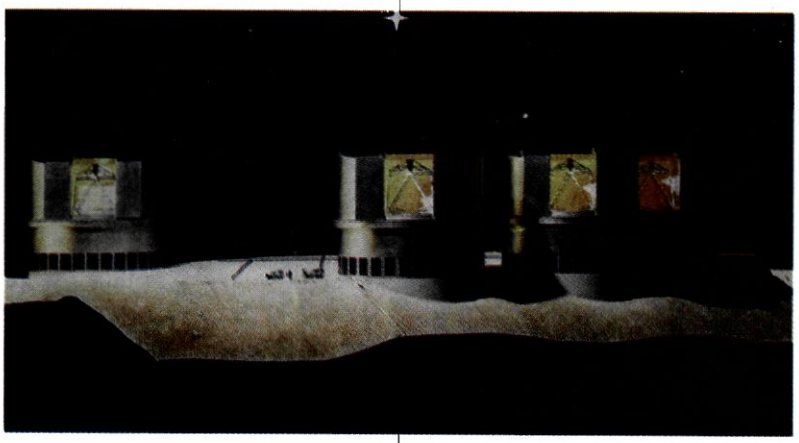
- Πώς γεννιούνται και πώς πεθαίνουν τα άστρα και πώς αλληλεπιδρούν με τη μεσοαστρική ύλη; Τι είναι η λεγόμενη σκοτεινή ύλη του Σύμπαντος;

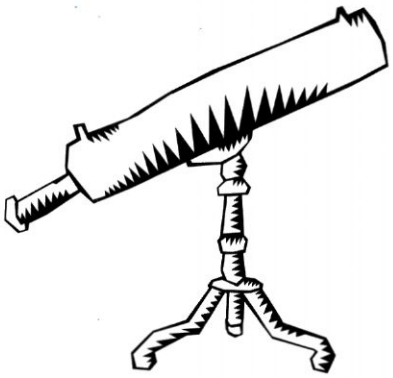
- Πώς σχηματίζονται τα πλανητικά συστήματα; Τι ποσοστό αστέρων έχουν πλανητικά συστήματα και τι ποσοστό είναι φιλόξενο στην ανάπτυξη ζωής;

- Υπάρχουν πολιτισμοί αλλού στο Σύμπαν;

Σε αυτά και άλλα ερωτήματα καλούνται να δώσουν απαντήσεις οι αστρονόμοι σε συνεργασία με συναδέλφους τους από άλλες επιστήμες. Σήμερα, στη διαστημική εποχή που ζούμε, διαθέτουμε τα μέσα και τις μεθόδους έρευνας, ώστε να ελπίζουμε ότι αργά ή γρήγορα θα δοθούν οι απαντήσεις σε πολλά από τα ερωτήματα που αναφέραμε πιο πάνω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ





ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ

«Αυτός είναι ο κόσμος
Ο ευρέτης των ζωδιακών
Στην άκρη της εκλειπτικής»
Οδ. Ελύτης, ΑΞΙΟΝ ΕΣΤΙ

Η φωτογραφία (κάτω) δείχνει το γαλαξία της Ανδρομέδας. Απέχει από τη Γη 2,2 εκατομμύρια έτη φωτός, δηλαδή 2,09 x 10^{19} Km.

Με ποια τεχνικά μέσα φωτογραφήθηκε ο γαλαξίας αυτός;

Πώς υπολογίστηκε η απόστασή του;

Πώς κατάφεραν να περιγράψουν τη δομή και τις ιδιότητές του;

Πώς εξήγησαν το σχηματισμό του;

Οι αστρονομικές παρατηρήσεις και η ερμηνεία τους είναι το κεντρικό θέμα αυτού του κεφαλαίου.

Θα μελετήσουμε πώς διεξάγονται σήμερα οι αστρονομικές παρατηρήσεις και με ποια διαδικασία ερμηνεύονται τα αποτελέσματά τους.

Δηλαδή, θα προσπαθήσουμε να απαντήσουμε σε δύο βασικά ερωτήματα:

α) Πώς προβλέπονται και ερμηνεύονται τα αποτελέσματα των αστρονομικών παρατηρήσεων με τη βοήθεια ενός θεωρητικού μοντέλου;

β) Τι παρατηρούμε και πώς; Ποια όργανα χρησιμοποιούνται σήμερα για τη διεξαγωγή των αστρονομικών παρατηρήσεων;

2.1 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΘΕΩΡΙΑ

ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΝΟΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Από την αρχή της εμφάνισής του στη Γη ο άνθρωπος παρατηρούσε και βίωνε τις μεταβολές του φυσικού περιβάλλοντος, μέσα στο οποίο αγωνιζόταν να επιβιώσει. Με το νου του ανέλυε και ταξινομούσε καθετί που κατέγραφαν οι αισθήσεις του.

Έτσι δεν άργησε να διαπιστώσει ότι πολλά φαινόμενα επαναλαμβάνονται περιοδικά, όπως, για παράδειγμα, η εναλλαγή ημέρας και νύχτας, οι διαδοχικές αλλαγές των εποχών και οι κινήσεις των άστρων. Άλλα πάλι φαινόμενα διαπίστωσε ότι έχουν σχέση αιτίας - αποτελέσματος: Όταν φυσάει ο άνεμος, τα φύλλα και τα κλαδιά των δέντρων κινούνται, τα ιστιοφόρα πλοία ταξιδεύουν. Όταν πάλι το νερό θερμαίνεται για αρκετό χρόνο, μετατρέπεται από υγρό σε ατμό. Τελικά έφτασε σε ένα σπουδαίο συμπέρασμα:

Τα φυσικά γεγονότα δε συμβαίνουν στην τύχη. **Ένα οποιοδήποτε φυσικό γεγονός επαναλαμβάνεται, κάθε φορά που συντρέχουν παρόμοιες συνθήκες και προϋποθέσεις.** Ο κόσμος, δηλαδή, «λειτουργεί» με βάση κάποιους συγκεκριμένους και αναλλοίωτους νόμους.

Από τότε ξεκινά η συναρπαστική περιπέτεια της κατανόησης και ερμηνείας του κόσμου, η οποία συνεχίζεται μέχρι και σήμερα. Βέβαια οι νόμοι και οι μηχανισμοί των άπειρων μεταβολών που συμβαίνουν γύρω μας είναι εξαιρετικά πολύπλοκοι, για να χωρέσουν στον ανθρώπινο νου. Για να μπορέσουμε να περιγράψουμε και να αναλύσουμε τα φυσικά γεγονότα, είμαστε αναγκασμένοι να κατασκευάζουμε και να μελετάμε **θεωρητικά πρότυπα ή μοντέλα.** Δηλαδή, να κατασκευάζουμε με το νου μας αναπαραστάσεις

του πραγματικού κόσμου, να τις μελετάμε και να προσπαθούμε μέσω αυτών να καταλήγουμε σε συμπεράσματα για τα αντίστοιχα πραγματικά φαινόμενα.

Τα αρχαία και τα παλαιότερα μοντέλα ερμηνείας του κόσμου στηρίζονταν στους μύθους και στη μεταφυσική. Τα σύγχρονα θεμελιώνονται πάνω σε έννοιες και σε βασικές υποθέσεις που προέρχονται από τα Μαθηματικά και από την καθημερινή μας εμπειρία.

Ας θυμηθούμε, για παράδειγμα, τον τρόπο που οικοδομείται ένα θεωρητικό μοντέλο γνωστό μας από την προηγούμενη τάξη, η Νευτώνεια Μηχανική.

- Ξεκινάει από τις έννοιες του χώρου και του χρόνου, που ανήκουν στην εμπειρία κάθε ανθρώπου.
- Με τη βοήθεια των μαθηματικών ορίζονται νέες ποσότητες: ταχύτητα, επιτάχυνση, ορμή κτλ.
- Διατυπώνονται βασικές υποθέσεις: Οι τρεις νόμοι του Νεύτωνα.
- Με αφετηρία τα παραπάνω κατασκευάζεται όλο το υπόλοιπο οικοδόμημα: Νόμοι, προτάσεις, συμπεράσματα, προβλέψεις κτλ.

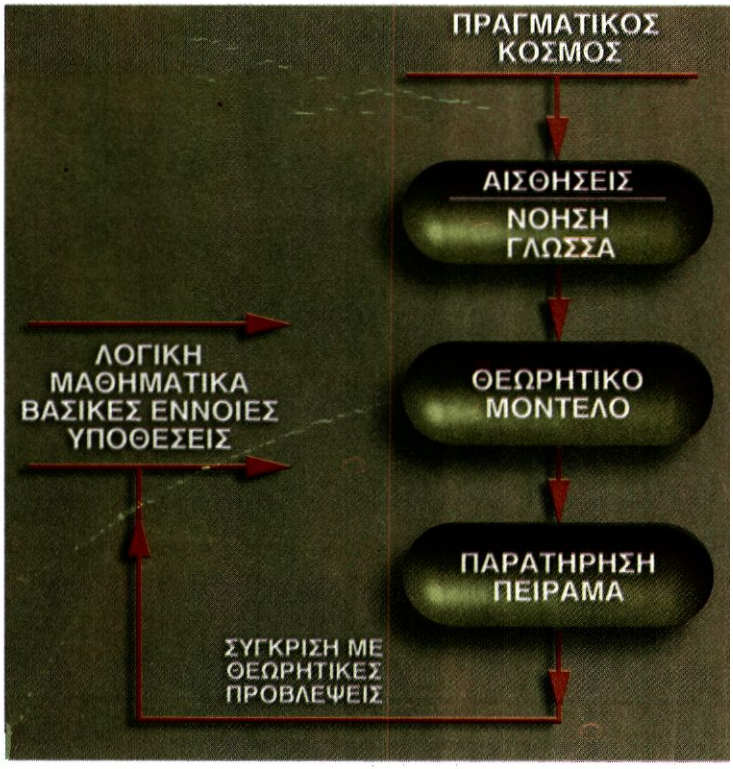
Ωστόσο ένα θεωρητικό μοντέλο ερμηνείας του κόσμου αποκτά αξιοπιστία, εφόσον οι προβλέψεις του συμφωνούν με την «πραγματικότητα». Αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο πρέπει να περάσει από σκληρή δοκιμασία, που γίνεται με την **παρατήρηση και το πείραμα.** Αν όλα τα πειραματικά δεδομένα ή τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων επαληθεύουν τις θεωρητικές προβλέψεις, το μοντέλο επικυρώνεται και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται. Σε αντίθετη περίπτωση, διαψεύδεται. Τότε προσπαθούμε να τροποποιήσουμε τις βασικές του υποθέσεις και να το ανασυγκροτήσουμε έτσι, ώστε να μπορέσει να ενσωματώσει όλα τα παλαιότερα και νεότερα δεδομένα.

Βλέπουμε ότι η γνώση κατακτάται μέσα από ένα παιχνίδι που παίζει ο άνθρωπος με τη φύση. Σχηματικά μπορούμε να το παραστήσουμε με το σχ. 2.1.

Τα επιστημονικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της δομής και εξέλιξης του Σύμπαντος τα ονομάζουμε «κοσμολογικά».

Τα κοσμολογικά μοντέλα κατασκευάζονται και αυτά με τους κανόνες που περιγράψαμε. Ωστόσο πρέπει να πληρούν τις παρακάτω δυο προϋποθέσεις:

1) Οι υποθέσεις ενός κοσμολογικού μοντέλου πρέπει να είναι συμβιβαστές με γενικότερες θεωρίες της Φυσικής.



Σχήμα 2.1

2) Ο έλεγχος των κοσμολογικών μοντέλων γίνεται μόνο μέσω της αστρονομικής παρατήρησης.

Είναι φανερό ότι δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί πείραμα στις ασύλληπτες διαστάσεις των αστρονομικών φαινομένων.

2.2 ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ

Είδαμε ότι η Αστρονομία διαφέρει από τις άλλες φυσικές επιστήμες. Ο έλεγχος και η εξέλιξη των **κοσμολογικών μοντέλων** επιτυγχάνεται μόνο με την παρατήρηση. Δεν είναι εφικτή η οργάνωση και η εκτέλεση πειραμάτων.

Στην Αστρονομία οι πληροφορίες και τα δεδομένα αντλούνται από τις ακτινοβολίες που φτάνουν στη Γη από τα ουράνια σώματα. Έτσι με τον όρο «αστρονομική παρατήρηση» εννοούμε τη διαδικασία που περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

1) Συγκέντρωση, (2) καταγραφή, (3) επεξεργασία

ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΔΥΟ ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΔΙΑΡΚΩΣ ΕΞΕΛΙΣΣΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΙΑΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

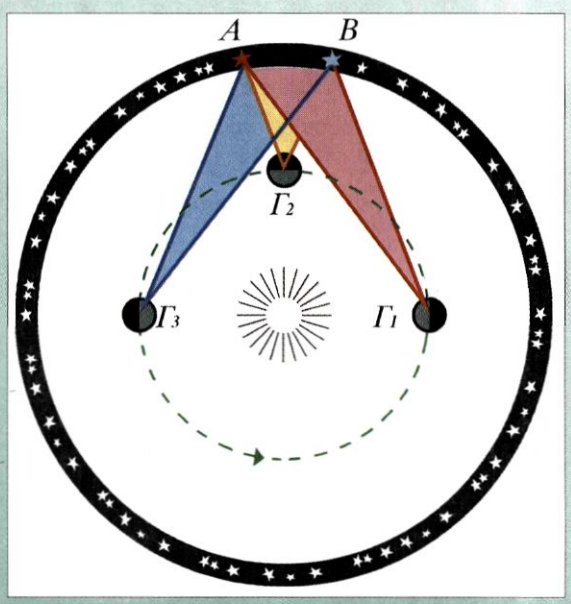
Οι αρχαίοι Έλληνες, για να ερμηνεύσουν τις κινήσεις των ουράνιων σωμάτων, επινόησαν δύο διαφορετικά κοσμολογικά μοντέλα:

Σχήμα 2.2: Μπορούμε να μετρήσουμε γωνιακές αποστάσεις στον ουρανό εύκολα, με τη βοήθεια του τεντωμένου χεριού μας. Η γωνία υπό την οποία βλέπουμε τη γροθιά μας είναι περίπου 10°. Η γωνιακή απόσταση μεταξύ των δύο αστέρων της Μεγάλης Άρκτου, που δείχνονται στο σχήμα, είναι ίση με τη γωνία που βλέπουμε τη μισή γροθιά μας, δηλαδή 5°.

-Ένα γεωκεντρικό (Αριστοτέλης, Ίππαρχος, Πτολεμαίος κτλ.) και
-ένα ηλιοκεντρικό (Αρίσταρχος).
Θα δούμε συνοπτικά:
-Τις βασικές υποθέσεις του κάθε μοντέλου.
-Μερικές σημαντικές ερμηνείες και προβλέψεις τους.
-Πώς αξιολογήθηκαν με βάση το παρατηρησιακό υλικό που είχε συγκεντρωθεί εκείνη την εποχή.

Γεωκεντρικό μοντέλο:
Υποθέτει ότι:
α) Η Γη είναι σφαιρική και βρίσκεται στο κέντρο του Σύμπαντος.
β) Τα ουράνια σώματα -Ήλιος, Σελήνη, αστέρες, πλανήτες - βρίσκονται σε σφαιρικούς φλοιούς που περιβάλλουν τη Γη. Κινούνται σε κυκλικές τροχιές γύρω από αυτήν.
Ερμηνεύει:
α) Την ημερήσια κίνηση των ουράνιων σωμάτων γύρω από τη Γη.
β) Την ετήσια κίνηση του Ήλιου ως προς τους αστέρες στο ζωδιακό κύκλο.
γ) Την καμπυλωμένη σκιά της Γης πάνω στη Σελήνη.
Προβλέπει ότι:
Η γωνιακή απόσταση δύο αστέρων κατά τη διάρκεια ενός έτους παραμένει σταθερή (σχ. 2.2.).

Ηλιοκεντρικό μοντέλο:
Υποθέτει ότι:
α) Ο Ήλιος βρίσκεται στο κέντρο του Σύμπαντος.
β) Οι αστέρες είναι ακίνητοι πάνω σε ένα λεπτό σφαιρικό φλοιό που περιβάλλει τον Ήλιο.
γ) Η Γη είναι σφαιρική, περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της και περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο.
Ερμηνεύει:
α) Την ημερήσια κίνηση όλων των ουράνιων σωμάτων γύρω από τη Γη.
β) Την ετήσια κίνηση του Ηλίου ως προς τους αστέρες στο ζωδιακό κύκλο.
γ) Την καμπυλωμένη σκιά της Γης στη Σελήνη.
Προβλέπει ότι:
Η γωνιακή απόσταση δύο αστέρων κατά τη διάρκεια ενός έτους μεταβάλλεται (σχ. 2.3).



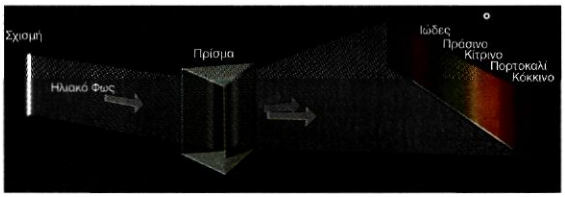
Σχήμα 2.3: Μεταβολή της γωνιακής απόστασης δύο αστέρων στο ηλιοκεντρικό μοντέλο. Η γωνιακή απόσταση των αστέρων Α και Β, όπως τη μετράει ένας παρατηρητής που βρίσκεται πάνω στη Γη, μεταβάλλεται κατά την κίνησή της γύρω από τον Ήλιο. Π.χ. η γωνία $ΑΓ_2Β$ είναι μεγαλύτερη από την $ΑΓ_3Β$.

Βλέπουμε ότι οι προβλέψεις των δύο μοντέλων σχετικά με τη μεταβολή της γωνιακής απόστασης είναι αντίθετες: Σύμφωνα με το ηλιοκεντρικό, θα έπρεπε να παρατηρείται, ενώ, σύμφωνα με το γεωκεντρικό, όχι.

Κανένας αρχαίος αστρονόμος δεν είχε καταφέρει να παρατηρήσει τέτοιες μεταβολές στις γωνιακές αποστάσεις μεταξύ των αστέρων κατά τη διάρκεια ενός έτους. Τα υπάρχοντα παρατηρησιακά δεδομένα φαινόταν ότι διέψευδαν την ηλιοκεντρική και ενίσχυαν τη γεωκεντρική άποψη.

Ωστόσο μεταβολή στη γωνιακή απόσταση υπάρχει. Είναι όμως τόσο μικρή, που δε μπορεί να γίνει αντιληπτή με γυμνό μάτι. Η ανίχνευσή της απαιτεί τηλεσκόπια, τα οποία δε διέθεταν οι αρχαίοι Έλληνες.

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι κάθε μοντέλο περιέχει τους σπόρους της διάψευσης και της αλλαγής του. Έχει συμβεί πολλές φορές στην Ιστορία της Επιστήμης καινούργιες ή ακριβέστερες παρατηρήσεις να οδηγήσουν στην ανατροπή παγιωμένων και φαινομενικά ακλόνητων αντιλήψεων.



Σχήμα 2.4: *Όταν μια δέσμη ακτίνων ηλιακού φωτός περάσει μέσα από ένα γυάλινο πρίσμα αναλύεται σε έγχρωμες ακτινοβολίες, που διατάσσονται από το ιώδες μέχρι το κόκκινο. Καθεμιά από αυτές δεν μπορεί να αναλυθεί σε απλούστερες. Αν ξαναπεράσουν μέσα από γυάλινο πρίσμα παραμένουν αναλλοίωτες (Πείραμα του Νεύτωνα).*

και (4) ανάλυση της ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη.

Η διεξαγωγή της αστρονομικής παρατήρησης προϋποθέτει βέβαια τη χρήση μιας σειράς οργάνων. Ανάλογα με τη λειτουργία τους, ταξινομούνται σε:

-Συλλέκτες ακτινοβολίας: Οπτικά τηλεσκόπια, ραδιοτηλεσκόπια, τηλεσκόπια ακτίνων Χ κτλ.

-Αναλύτες: Φίλτρα ακτινοβολίας, φασματογράφοι, μαγνητογράφοι κτλ.

-Δέκτες: Μάτι, φωτογραφική πλάκα, φωτοκύτταρα, ραδιοδέκτες, στοιχεία συζευγμένου φορτίου (CCDs) κτλ.

-Μετρητικά όργανα: Μικρόμετρα, καταγραφείς, ταινίες, μαγνητοταινίες, φωτόμετρα κτλ. Τα δεδομένα που προκύπτουν από τις μετρήσεις κωδικοποιούνται και ακολουθεί επεξεργασία τους με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία και ανάλυση των αστρονομικών παρατηρήσεων, σε συνδυασμό με τους νόμους της Φυσικής, μας δίνουν πληροφορίες:

1) Για τα ουράνια σώματα από τα οποία εκπέμπονται οι αντίστοιχες ακτινοβολίες.

2) Για το μεσοαστρικό χώρο που διέσχισαν, μέχρι να φτάσουν στη Γη.

Οι πληροφορίες αυτές συνάγονται κυρίως από το φάσμα της ακτινοβολίας που συλλέγεται.

Φάσμα μιας ακτινοβολίας ονομάζεται το σύνολο των απλών ακτινοβολιών στις οποίες μπορούμε να την αναλύσουμε. Για παράδειγμα, όταν το ηλιακό φως περνάει μέσα από ένα γυάλινο πρίσμα αναλύεται σε πολλές έγχρωμες ακτινοβολίες (σχ. 2.4). Καθεμιά

Γωνιακή απόσταση μεταξύ δύο ουράνιων σωμάτων: είναι η γωνία που σχηματίζουν οι οπτικές ακτίνες που ενώνουν τα δύο σώματα με το μάτι του παρατηρητή (Βλέπε και παρ. 2.3).

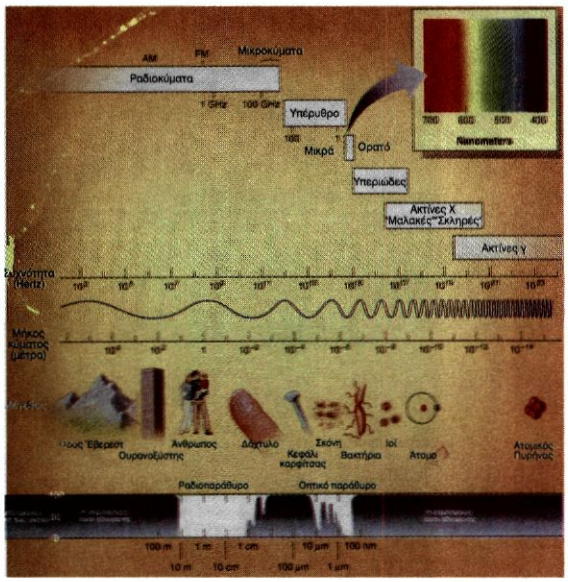
Φωτόνια: Είναι τα πανομοιότυπα "σωματίδια" από τα οποία αποτελείται μια απλή ακτινοβολία.
Κάθε φωτόνιο κινείται με την ταχύτητα του φωτός (c=300.000 Km/s) και μεταφέρει ένα ποσό ενέργειας (E), ανάλογο προς τη συχνότητα ν της αντίστοιχης ακτινοβολίας:

$$E=h\cdot\nu$$

Το h είναι μια παγκόσμια σταθερά. Ονομάζεται σταθερά του Planck και ισούται με:

$$h=6{,}626\cdot10^{-34}Js$$

από αυτές δεν μπορεί να αναλυθεί σε απλούστερες. Αν ξαναπεράσουμε, π.χ., την πράσινη ακτίνα μέσα από ένα άλλο πρίσμα, θα δούμε ότι διαθλάται, χωρίς να αναλύεται.



Εικόνα 2.5: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

Κάθε απλή ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από την εντελώς συγκεκριμένη τιμή του μήκους κύματος και της συχνότητάς της. Έτσι, η κίτρινη ακτίνα του ορατού φάσματος έχει μικρότερο μήκος κύματος από την κόκκινη, οι ακτίνες γ διαφέρουν από τα ραδιοκύματα στο ότι έχουν πολύ μικρότερα μήκη κύματος από αυτά. Ένα ουράνιο σώμα μπορεί να εκπέμπει ακτινοβολίες κάθε είδους: Ραδιοκύματα, υπέρυθρες, ορατές, υπεριώδεις, ακτίνες Χ και ακτίνες γ. Ωστόσο, όλες αυτές δεν φτάνουν μέχρι το έδαφος της Γης. Η γήινη ατμόσφαιρα είναι διαφανής μόνο για τις ακτινοβολίες που ανήκουν στην οπτική περιοχή του φάσματος, σε ένα μέρος της περιοχής του υπερύθρου και στα ραδιοκύματα. Οι περιοχές αυτές του φάσματος ονομάζονται «αστρονομικά παράθυρα».

Με την υψηλή τεχνολογία που διαθέτουμε σήμερα είναι δυνατό να αναλύουμε οποιεσδήποτε

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (Η/Μ) παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην αστρονομική παρατήρηση. Είναι, επομένως, αναγκαίο να γνωρίσουμε λίγα πράγματα γι' αυτήν:

- Ποια είναι η φύση της.
- Πώς παράγεται.
- Πώς συνδέονται οι ιδιότητες ενός σώματος με τις ιδιότητες της Η/Μ ακτινοβολίας που εκπέμπει.

• **Ποια είναι η φύση της Η/Μ ακτινοβολίας;**

Η μελέτη και η ερμηνεία φαινομένων, στα οποία παρατηρείται εκπομπή, απορρόφηση, διάδοση ή ανάλυση ακτινοβολίας ξεκινάει από την εποχή του Νεύτωνα. Ωστόσο ο προσδιορισμός της φύσης της Η/Μ ακτινοβολίας με τη βοήθεια εννοιών που μας είναι οικείες από την κλασική Φυσική παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες. Η Η/Μ ακτινοβολία εμφανίζει παράξενη συμπεριφορά:

- Μια μεγάλη ομάδα φαινομένων (ανάκλαση, διάθλαση, συμβολή, περίθλαση κ.ά.) ερμηνεύεται, αν δεχθούμε ότι αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα.
- Αντίθετα, η ερμηνεία πολλών άλλων φαινομένων (το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, η ακτινοβολία του μέλανος σώματος, τα γραμμικά φάσματα κ.ά.) απαιτεί να υποθέσουμε ότι αποτελείται από σωματίδια, τα αποκαλούμενα φωτόνια.

Ώστε η Η/Μ ακτινοβολία εμφανίζει ένα δυϊσμό: Σε ορισμένα φαινόμενα η συμπεριφορά της είναι κυματική και σε κάποια άλλα σωματιδιακή. Το Η/Μ κύμα και το φωτόνιο -δύο έννοιες φαινομενικά αντιφατικές- χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά για την κατανόηση της φύσης της Η/Μ ακτινοβολίας. Ας δούμε μερικές βασικές τους ιδιότητες:

Η/Μ κύμα ονομάζεται ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό πεδίο που διαδίδονται μαζί στο χώρο με την ταχύτητα του φωτός (c=300.000 Km/s).

Παράγεται από ένα σημειακό φορτίο, π.χ. από ένα ηλεκτρόνιο που ταλαντώνεται αρμονικά με κάποια συχνότητα ν. Μέσα σε χρόνο μιας περιόδου (Τ) της ταλάντωσης το κύμα, αφού κινείται με ταχύτητα c, διανύει απόσταση

$$\lambda = c \cdot T \quad \text{ή} \quad \lambda = c/\nu \qquad (1)$$

(δεδομένου ότι η περίοδος και η συχνότητα είναι αντίστροφα μεγέθη Τ=1/ν).

Το μέγεθος λ ονομάζεται μήκος κύματος. Η συχνότητα και το μήκος κύματος είναι τα δύο θεμελιώδη χαρακτηριστικά ενός κύματος. Βέβαια, αν γνωρίζουμε το ένα, μπορούμε από τη σχέση (1) να υπολογίσουμε και το άλλο.

Φωτόνιο: Ένα Η/Μ κύμα ορισμένης συχνότητας ν εμφανίζει σε πολλά φαινόμενα ιδιότητες που εξηγούνται μόνον, αν δεχθούμε ότι αποτελείται από πανομοιότυπα σωματίδια. Τα σωματίδια αυτά έχουν όλα την ίδια καθορισμένη ενέργεια και ονομάζονται φωτόνια. Μπορούμε, δηλαδή, να πούμε ότι τα φωτόνια συμπεριφέρονται σαν ενεργειακά πακέτα - κβάντα ενέργειας. Καθένα μεταφέρει ένα ποσό ενέργειας που προσδιορίζεται αποκλειστικά από τη συχνότητα του κύματος.

Ένα φωτόνιο **εκπέμπεται,** όταν κάποιο ηλεκτρόνιο ενός ατόμου μεταπηδήσει από μια τροχιά υψηλότερης ενέργειας σε μιαν άλλη χαμηλότερης (αποδιέγερση του ατόμου). Μπορεί να συμβεί και το αντίστροφο: Κάποιο ηλεκτρόνιο ενός ατόμου να **απορροφήσει ένα φωτόνιο** ορισμένης ενέργειας και να μεταπηδήσει σε τροχιά υψηλότερης ενέργειας ή ακόμα και να διαφύγει μακριά από το άτομο. Τα φαινόμενα αυτά ονομάζονται διέγερση και ιονισμός του ατόμου, αντίστοιχα.

• **Πώς σχετίζεται το φάσμα μιας ακτινοβολίας με τις ιδιότητες της πηγής από την οποία προέρχεται;**

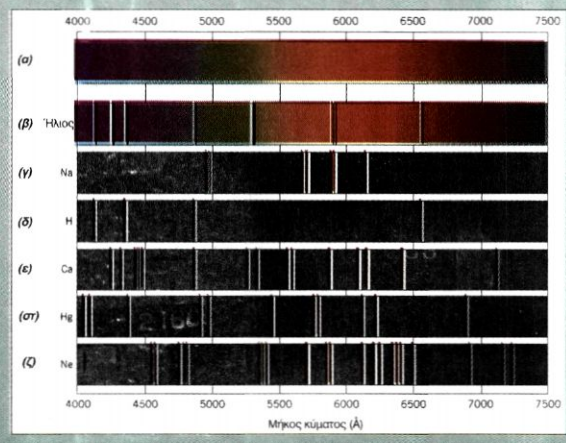
Το φάσμα μιας ακτινοβολίας είναι το σύνολο των απλών ακτινοβολιών στις οποίες αυτή αναλύεται. Κάθε απλή ακτινοβολία είναι ένα Η/Μ κύμα ορισμένης συχνότητας, επομένως αποτελείται από έναν αριθμό φωτονίων ίδιας ενέργειας. Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των φωτονίων που περιλαμβάνει τόσο ισχυρότερη θα είναι και η παρουσία της στο φάσμα. Ώστε η μορφή του φάσματος μιας ακτινοβολίας εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο κατανέμεται ο συνολικός αριθμός των φωτονίων της στις διάφορες απλές ακτινοβολίες που περιέχει.

Έτσι, ένα διάπυρο αέριο σε υψηλή πίεση, ένα διάπυρο στερεό ή υγρό σώμα εκπέμπει ακτινοβολία στην οποία ανιχνεύονται φωτόνια κάθε συχνότητας, σε διαφορετικά ωστόσο ποσοστά. Π.χ. το 15% των φωτονίων μπορεί να είναι στην περιοχή του ερυθρού, το 10% στην περιοχή του κίτρινου κλπ.

Ένα τέτοιο φάσμα ονομάζεται συνεχές (σχ. 2.6α). Το ιδανικό αδιαφανές σώμα που εκπέμπει ακτινοβολία συνεχούς φάσματος είναι γνωστό ως **μελανό σώμα.**

Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της πηγής που εκπέμπει ακτινοβολία με συνεχές φάσμα τόσο πιο πολλά φωτόνια με μεγάλες συχνότητες παρατηρούνται σ' αυτό. Λέμε τότε ότι το φάσμα «μετατοπίζεται» προς τις μεγάλες συχνότητες (ή μικρά μήκη κύματος).

Αντίθετα, αν αναλύσουμε την ακτινοβολία που εκπέμπει ένα διάπυρο αέριο υπό χαμηλή πίεση, θα δούμε ότι περιέχει φωτόνια εντελώς ορισμένων συχνοτήτων (σχ. 2.6 γ,δ,ε,στ,ζ). Τα φάσματα αυτά ονομάζονται **γραμμικά φάσματα εκπομπής.** Οι συχνότητες των φωτονίων που παρατηρούνται σ' αυτά εξαρτώνται στενά από τη χημική σύσταση του αερίου.



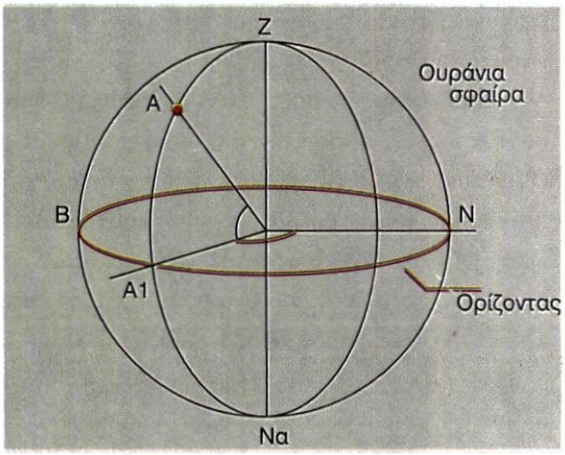
Σχήμα 2.6: α) Συνεχές φάσμα. Τέτοιο είναι το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπει ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως. β) Το φάσμα απορρόφησης του Ηλίου -φαίνονται μόνο οι πιο έντονες σκοτεινές γραμμές. γ), δ), ε), στ), ζ) Τα φάσματα εκπομπής των στοιχείων Na, H, Ca, Hg και Ne αντίστοιχα. Παρατηρήστε ότι οι φασματικές γραμμές ορισμένων στοιχείων ευθυγραμμίζονται με τις σκοτεινές γραμμές του ηλιακού φάσματος, γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη των στοιχείων αυτών στην ηλιακή ατμόσφαιρα.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι «φωτίζουμε» ένα αέριο υπό χαμηλή θερμοκρασία και πίεση με μια ακτινοβολία συνεχούς φάσματος και αναλύουμε την ακτινοβολία που διέρχεται τελικά μέσα από αυτό. Στο φάσμα της θα βρούμε φωτόνια κάθε συχνότητας εκτός εκείνων που αντιστοιχούν στο φάσμα εκπομπής του αερίου. Το αέριο έχει απορροφήσει τα φωτόνια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που έχουν τις δικές του συχνότητες (σχ. 2.6 Β). Έτσι παίρνουμε ένα **φάσμα απορρόφησης.**

Τα φάσματα των ακτινοβολιών που έρχονται από τον Ήλιο και τους άλλους αστέρες είναι φάσματα απορρόφησης.(Προσπάθησε να εξηγήσεις γιατί).

-Ποιές ιδιότητες ενός φωτεινού σώματος μας αποκαλύπτονται από την επεξεργασία του φάσματος της ακτινοβολίας που εκπέμπει, σύμφωνα με το προηγούμενο κείμενο;

Εικόνα 2.7: Φωτογραφία του ουρανού του βόρειου ημισφαίριου. Το φιλμ έχει εκτεθεί για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα προς το βόρειο πόλο της ουράνιας σφαίρας. Οι αστέρες φαίνονται ότι κινούνται σε κυκλικές τροχιές γύρω από τον άξονα της ουράνιας σφαίρας. Οι ακτίνες τους μεγαλώνουν με την απόσταση του αστέρα από το βόρειο πόλο. Ο πολικός αστέρας ταυτίζεται σχεδόν με το βόρειο πόλο και έτσι διαγράφει κυκλική τροχιά ελάχιστης ακτίνας.



Σχήμα 2.8: Κάθε επίπεδο που περιέχει την κατακόρυφη ονομάζεται κατακόρυφο επίπεδο. Η κατακόρυφη ενός τόπου συναντά την ουράνια σφαίρα σε δύο υποθετικά σημεία, που ονομάζονται **Ζενίθ** (Ζ) και **Ναδίρ** (Να). Ο κατακόρυφος κύκλος που περνά από το Ζενίθ, το Ναδίρ και κάποιον αστέρα Α ονομάζεται **κατακόρυφος του αστέρα.** Τα τόξα AA_1 και A_1N, που μετρώνται στον κατακόρυφο κύκλο του αστέρα Α και στον ορίζοντα του τόπου, λέγονται αντίστοιχα **ύψος** και **αζιμούθιο** του αστέρα. Η γνώση των δύο αυτών τόξων αρκεί για να προσδιορίσουμε τη θέση του αστέρα στην ουράνια σφαίρα. Το ύψος και το αζιμούθιο αποτελούν τις **οριζόντιες συντεταγμένες** του αστέρα. Το Ν είναι το νότιο σημείο του ορίζοντα και το Β το βόρειο σημείο του.

ακτινοβολίες, ακόμα και τις πλέον ασθενείς. Από τη μορφή του φάσματος που προκύπτει, δηλαδή από το πλήθος, την ένταση και την ενέργεια των απλών ακτινοβολιών που περιέχει, καταλήγουμε σε συμπεράσματα για την πηγή που τις εκπέμπει, όπως:

-Την ενέργεια που ακτινοβολείται από αυτήν.

-Τη θερμοκρασία της.

-Τη χημική της σύσταση.

-Το μαγνητικό της πεδίο.

-Την απόστασή της από τη Γη και την κίνησή της ως προς αυτήν.

-Τη φύση και τη σύσταση του «μεσοαστρικού χώρου» που διανύει η ακτινοβολία, για να φτάσει από την πηγή στη Γη.

2.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΟΥΡΑΝΟΥ ΑΠΟ ΕΝΑΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΗ ΓΗ

ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΟΥΡΑΝΙΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

Ο Ήλιος την ημέρα, η Σελήνη και οι αστέρες τη νύχτα είναι τα φωτεινά αντικείμενα που αιώνες τώρα βλέπουν οι άνθρωποι στον ουρανό.

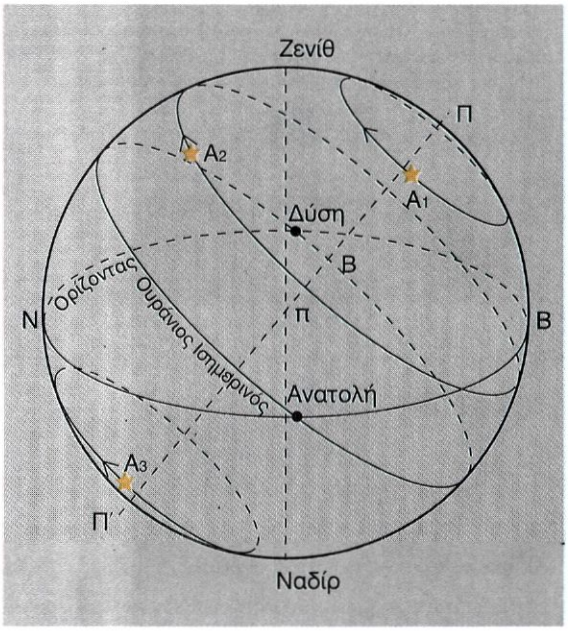
Μια γρήγορη ματιά στο νυχτερινό έναστρο ουρανό μας δημιουργεί την αίσθηση του χάους. Ωστόσο η συστηματική παρατήρηση ανατρέπει την αρχική μας εντύπωση και μας οδηγεί στην ανακάλυψη μιας παγκόσμιας τάξης και αρμονίας.

Ύψος ενός αστέρα είναι η γωνιακή απόσταση του αστέρα από το σημείο τομής του ορίζοντα με τον κατακόρυφο κύκλο που περνάει από αυτόν (βλ. σχήμα 2.8).

Όλα τα ουράνια σώματα φαίνονται σαν να βρίσκονται στην εσωτερική επιφάνεια μιας γιγάντιας σφαίρας, στο κέντρο της οποίας βρίσκεται η Γη. Η εντύπωση αυτή είναι τόσο έντονη, ώστε οδήγησε τους αρχαίους αστρονόμους στην υπόθεση ότι η Γη βρίσκεται στο κέντρο του Σύμπαντος. Η φανταστική αυτή σφαίρα έχει ακτίνα απροσδιόριστη και ονομάζεται **ουράνια σφαίρα.**

Η ουράνια σφαίρα μαζί με όλα τα ουράνια σώματα που βλέπουμε σ' αυτήν φαίνεται σαν να περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα, με κατεύθυνση από την Ανατολή προς τη Δύση. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην αντίθετη περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της. Ο άξονας της ουράνιας σφαίρας είναι προέκταση του άξονα περιστροφής της Γης. Ο χρόνος μιας πλήρους περιστροφής της (24 ώρες) είναι ίσος με την περίοδο περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της.

Έτσι, ένας παρατηρητής βλέπει από τη Γη όλα τα ουράνια σώματα να διαγράφουν μέσα σε 24 ώρες παράλληλες κυκλικές τροχιές με τα επίπεδά τους κάθετα στον άξονα της ουράνιας σφαίρας και τα κέντρα τους πάνω σ' αυτόν (εικ. 2.7).



Σχήμα 2.9: A_1: αειφανής αστέρας: ολόκληρη η φαινόμενη κυκλική τροχιά του γύρω από τον άξονα περιστροφής της ουράνιας σφαίρας είναι παρατηρήσιμη από τον παρατηρητή π.
A_2: αμφιφανής αστέρας: μέρος της τροχιάς του είναι παρατηρήσιμη από τον π.
A_3: αφανής αστέρας: η τροχιά του δεν είναι παρατηρήσιμη από τον π.

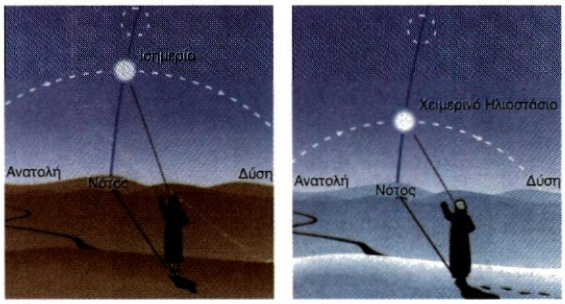
Εικόνα 2.10: Οι αποστάσεις μεταξύ των αστέρων φαίνονται αμετάβλητες από έναν επίγειο παρατηρητή. Πρόκειται για μια ακόμα ψευδαίσθηση. Οι σχετικές τους ταχύτητες είναι πολύ μεγάλες. Επειδή, όμως οι αποστάσεις τους από τη Γη είναι τεράστιες, η γωνιακή τους μετατόπιση μέσα σε μια ανθρώπινη ζωή είναι αδύνατο να γίνει αισθητή.

Φανταστείτε ότι ταξιδεύουμε στην ανοιχτή θάλασσα και παρατηρούμε μακρινά αντικείμενα γύρω μας, χωρίς να παρεμβάλλονται βουνά ή άλλα εμπόδια. Η ουράνια σφαίρα και η Γη μοιάζει να συναντιούνται σε ένα μεγάλο φανταστικό κύκλο με κέντρο τον εαυτό μας. Ο κύκλος αυτός ονομάζεται **ορίζοντας** του τόπου που βρισκόμαστε (σχ. 2.8). Ο ορίζοντας δημιουργεί την αίσθηση του «πάνω» και του «κάτω»: Ό,τι βρίσκεται πάνω από το οριζόντιο επίπεδο μπορούμε να το δούμε, ενώ ό,τι είναι κάτω από αυτό, όχι.

Με τον ορίζοντα και το οριζόντιο επίπεδο συνδέεται και η έννοια της **κατακόρυφης** ενός τόπου. Πρόκειται για την ευθεία που περνάει από τον τόπο που βρισκόμαστε και είναι κάθετη στο οριζόντιο επίπεδο.

Μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ότι οι κυκλικές τροχιές ορισμένων ουρανίων σωμάτων συναντούν τον ορίζοντα ενός τόπου. Άλλων βρίσκονται ολόκληρες πάνω απ' αυτόν και άλλων κάτω απ' αυτόν (σχ.2.9).

Ένας παρατηρητής που βρίσκεται στο συγκεκριμένο τόπο, στην πρώτη περίπτωση βλέπει το ουράνιο σώμα να ανατέλλει και να δύει. Μόνο ένα μέρος της τροχιάς του είναι ορατό από αυτόν. Στη δεύτερη περίπτωση ολόκληρη η τροχιά του είναι ορατή, ενώ στην τρίτη κανένα μέρος της δεν είναι παρατηρήσιμο. Παράδειγμα: Ένας παρατηρητής από οποιονδήποτε



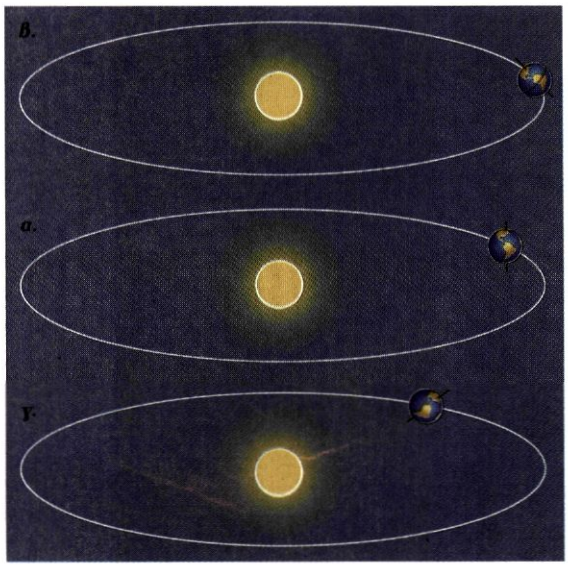
Σχήμα 2.11: Το μεσημέρι οι σκιές γίνονται ελάχιστες και η γωνιακή απόσταση του Ήλιου από τον ορίζοντα μέγιστη. Αν τότε στραφούμε προς τον Ήλιο, προσδιορίζουμε το σημείο του νότου στον ορίζοντα.

τόπο της Ελλάδας βλέπει τον Ήλιο να ανατέλλει και να δύει. Από ένα μέρος όμως κοντά στο βόρειο πόλο, τον Ιούλιο τον βλέπει πάνω από τον ορίζοντα ολόκληρο το εικοσιτετράωρο, ενώ το Δεκέμβριο δεν τον βλέπει καθόλου.

ΓΩΝΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΟΥΡΑΝΙΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ. ΑΠΛΑΝΕΙΣ ΑΣΤΕΡΕΣ ΚΑΙ ΠΛΑΝΗΤΕΣ

Η μέτρηση των αποστάσεων μεταξύ των ουράνιων σωμάτων δεν είναι τόσο εύκολη υπόθεση. Στηρίζεται σε φυσικούς νόμους που αφορούν την ακτινοβολία που εκπέμπεται από κινούμενη πηγή και απαιτεί σημαντικό εργαστηριακό εξοπλισμό.

Οι αρχαίοι αστρονόμοι είχαν κάνει πολλές μετρήσεις γωνιακών αποστάσεων μεταξύ των ουράνιων σωμάτων (βλ. σχετικά παρ. 2.2). Διαπίστωσαν ότι για



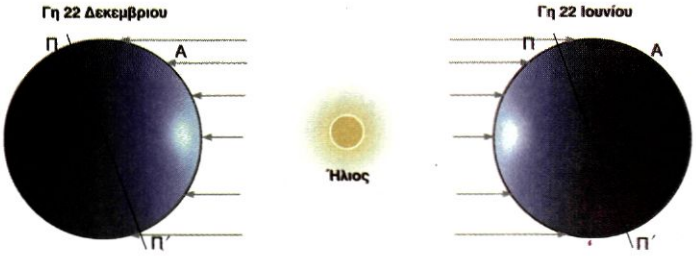
Σχήμα 2.12 α, β, γ.: α) Ο άξονας της Γης κάθετος στην τροχιά της β) Πάνω στο επίπεδο της τροχιάς της γ) Σε πλάγια θέση.

τα περισσότερα από αυτά οι σχετικές γωνιακές αποστάσεις τους δε μεταβάλλονται με το χρόνο. Φαίνονται σαν να μην κινούνται το ένα ως προς το άλλο. Αυτά τα σώματα τα ονόμασαν **απλανείς αστέρες** ή **απλώς αστέρες.**

Αν παρατηρήσουμε για αρκετή ώρα τον έναστρο ουρανό, θα μας δημιουργηθεί η εντύπωση ότι οι αστέρες ομαδοποιούνται σε αμετάβλητους γεωμετρικούς σχηματισμούς. Οι αρχαίοι Έλληνες είχαν αναγνωρίσει σ' αυτούς με τη φαντασία τους μυθικές ή ιστορικές μορφές και τους είχαν δώσει ανάλογα ονόματα (σχ. 2.10).

Όλοι οι γνωστοί από την αρχαιότητα ουράνιοι σχηματισμοί αστέρων, καθώς και άλλοι που προστέθηκαν αργότερα, ονομάζονται **αστερισμοί** (βλ. χάρτες του ουρανού στο τέλος του βιβλίου).

Ο Ήλιος και η Σελήνη κινούνται σε σχέση με τους απλανείς αστέρες, δηλαδή οι γωνιακές αποστάσεις



Σχήμα 2.13: Η Γη όπως φωτίζεται από τον Ήλιο κατά το χειμερινό και θερινό ηλιοστάσιο.

από αυτούς μεταβάλλονται.

Με επίμονη και προσεκτική παρατήρηση μπορούμε να διακρίνουμε με γυμνό μάτι πέντε ακόμα ουράνια σώματα που κινούνται σε σχέση με τους αστέρες. Τα πέντε αυτά σώματα, που φαίνονται σαν να πλανώνται στον ουρανό, οι αρχαίοι τα ονόμασαν **πλανήτες.** Πρόκειται για τους πέντε από τους εννέα πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος, που μπορούμε να δούμε χωρίς τηλεσκόπιο: Τον Ερμή, την Αφροδίτη, τον Άρη, το Δία και τον Κρόνο. Οι υπόλοιποι τρεις, ο Ποσειδώνας, ο Ουρανός και ο Πλούτωνας δεν είναι ορατοί χωρίς όργανα παρατήρησης.

Ώστε από τα 5.000 περίπου φωτεινά αντικείμενα που διακρίνουμε με γυμνό μάτι στο νυκτερινό ουρανό, μόνο πέντε είναι πλανήτες και μοιάζουν λίγο πολύ με τη Γη. Όλα τα υπόλοιπα είναι αστέρες και έχουν χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά του Ηλίου. Ο Ήλιος, λοιπόν, είναι ένας αστέρας, η Γη ένας πλανή-

Σχήμα 2.14: Καθώς η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο, ο επίγειος παρατηρητής βλέπει την προβολή του Ήλιου στην ουράνια σφαίρα να κινείται σε σχέση με τους απλανείς αστέρες. Κατά τη διάρκεια του έτους, ο Ήλιος φαίνεται να περνά διαδοχικά κοντά από δώδεκα αστερισμούς. Το σύνολο των αστερισμών αυτών είναι γνωστό ως ζωδιακός κύκλος.

της, και η Σελήνη είναι ο μοναδικός φυσικός δορυφόρος της Γης.

Η ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΩΣ ΠΡΟΣ ΕΝΑΝ ΕΠΙΓΕΙΟ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗ

Κάθε μέρα βλέπουμε τον Ήλιο να ανατέλλει σε κάποιο σημείο του ορίζοντα, διαγράφει ένα κυκλικό τόξο γύρω από τον άξονα της ουράνιας σφαίρας και δύει σε κάποιο άλλο σημείο του ορίζοντα. Κάθε ουράνιο σώμα κάνει σε 24 ώρες κίνηση παρόμοια με αυτή του Ηλίου: Διαγράφει έναν κύκλο στη ουράνια σφαίρα, από την ανατολή προς τη δύση, το επίπεδο του οποίου είναι κάθετο στον άξονά της. Οι κινήσεις αυτές είναι φαινόμενες. Είναι συνέπεια της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της κατά την αντίθετη φορά, από τη δύση προς την ανατολή.

Ας παρακολουθήσουμε τον Ήλιο στην καθημερινή τροχιά του από ένα επίπεδο μέρος, όπου δεν υπάρχουν βουνά ή άλλα εμπόδια στον ορίζοντα. Τη στιγμή που ανατέλλει, η γωνιακή του απόσταση από τον ορίζοντα, δηλαδή το ύψος του, είναι μηδενική. Με την πάροδο του χρόνου το ύψος του αυξάνεται μέχρι το μεσημέρι. Το μεσημέρι το ύψος του Ηλίου είναι μέγιστο (σχ. 2.11). Στη συνέχεια μειώνεται, μέχρις ότου μηδενιστεί, τη στιγμή που ο Ήλιος δύει στον ορίζοντα.

Παρατηρούμε ότι το ορατό τόξο της ημερήσιας τροχιάς του Ηλίου προσδιορίζεται από τρία στοιχεία: Τα σημεία της ανατολής και της δύσης και το μέγιστο ύψος του.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι καταγράφουμε καθημερινά, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, και τα τρία στοιχεία, δηλαδή, σημειώνουμε από πού ανατέλλει, πού δύει και μετράμε σε μοίρες το μέγιστο ύψος του Ηλίου κάθε μεσημέρι. Θα παρατηρήσουμε ότι μεταβάλλονται διαρκώς.

Παράλληλα, και σε συνάρτηση με αυτά, μεταβάλλεται και η διάρκεια της ημέρας ως προς τη νύχτα. Συνοψίζουμε τα σημαντικότερα συμπεράσματα των παρατηρήσεων μας:

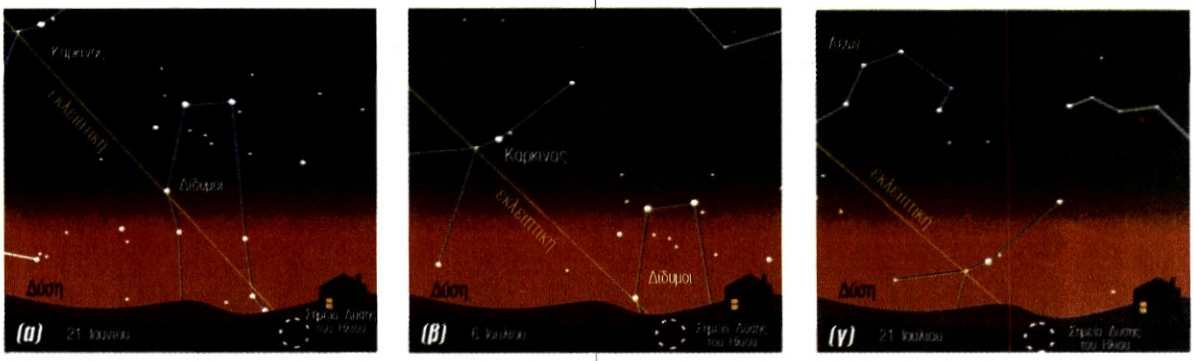
-Στις 22 Ιουνίου:

- Το μέγιστο ύψος του Ηλίου έχει τη μεγαλύτερη τιμή από όλες τις άλλες ημέρες του έτους.
- Η ημέρα έχει τη μέγιστη διάρκειά της και η γωνιακή απόσταση των σημείων της ανατολής και της δύσης από το σημείο του βορρά στον ορίζοντα έχει τη ελάχιστη τιμή της.
- Την ημέρα αυτή λέμε ότι ο Ήλιος βρίσκεται στο **θερινό ηλιοστάσιο.**

-Στις 22 Δεκεμβρίου:

- Το μέγιστο ύψος του Ηλίου έχει την ελάχιστη ετήσια τιμή του, η ημέρα την ελάχιστη διάρκειά της

Σχήμα 2.15: Η εικόνα δείχνει την κίνηση του Ηλίου στην ουράνια σφαίρα ως προς τους απλανείς αστέρες. Η τροχιά του Ηλίου είναι ένας μέγιστος κύκλος της ουράνιας σφαίρας και ονομάζεται εκλειπτική. Ο Ήλιος κινείται από τη δύση προς την ανατολή (αριστερό προς δεξιό μέρος του σχήματος). Περνά διαδοχικά κοντά από τους αστερισμούς που φαίνονται στο σχήμα και επιστρέφει στο ίδιο σημείο της εκλειπτικής σε ένα έτος.



Σχήμα 2.16: Στα τρία σχήματα φαίνονται, σε τρεις διαφορετικές ημερομηνίες, εικόνες του ουρανού μετά τη δύση του Ηλίου, τη στιγμή που αρχίζουν να διακρίνονται οι αστερισμοί. Παρατηρήστε τη διαρκή μετατόπιση του Ήλιου ως προς αυτούς.

και η γωνιακή απόσταση της ανατολής και της δύσης από το σημείο του βορρά στον ορίζοντα είναι η μέγιστη δυνατή.

- Ο Ήλιος την ημέρα αυτή βρίσκεται στο **χειμερινό ηλιοστάσιο**. Στα ηλιοστάσια ο Ήλιος φαίνεται να παραμένει στην ίδια θέση για μερικές ημέρες, γι' αυτό και ονομάστηκαν έτσι.

-Τέλος υπάρχουν δύο ημέρες του έτους, η 21η Μαρτίου και η 23η Σεπτεμβρίου, που ονομάζονται **εαρινή** και **φθινοπωρινή ισημερία**, αντίστοιχα. Στις ισημερίες παρατηρούμε ότι:

- Τα σημεία της ανατολής και της δύσης του Ηλίου ταυτίζονται με τα αντίστοιχα γεωγραφικά σημεία του ορίζοντα.
- Το μεσημεριανό ύψος του Ηλίου έχει ενδιάμεση τιμή μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης που αντιστοιχούν στα ηλιοστάσια.
- Η διάρκεια της ημέρας είναι ίση με τη διάρκεια της νύχτας.

Δραστηριότητα 1: Με ένα φακό ή λάμπα, μια υδρόγειο σφαίρα και τη βοήθεια των σχημάτων 2.12 α, β και γ, προσπάθησε να τεκμηριώσεις τις δύο σκέψεις α) και β) της διπλανής παραγράφου.

Δραστηριότητα 2: Με τα μέσα που χρησιμοποίησες στην προηγούμενη δραστηριότητα και τη βοήθεια του σχήματος 2.13, προσπάθησε να τεκμηριώσεις την άποψη:

« Όταν η Γη διέρχεται από ορισμένες θέσεις της τροχιάς της, ένας παρατηρητής που βρίσκεται κοντά στο βόρειο πόλο βλέπει τον Ήλιο ολόκληρο το εικοσιτετράωρο, ενώ, όταν διέρχεται από ορισμένες άλλες, δεν τον βλέπει καθόλου. Ανάλογη είναι και η εμπειρία ενός παρατηρητή που βρίσκεται κοντά στο νότιο πόλο.» Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε γεωγραφικά πλάτη άνω των 66° 33' και κάτω των -66° 33' (πολικοί κύκλοι) και είναι γνωστό ως **Ήλιος του μεσονυκτίου.**

ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΗΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Πώς μπορούν να εξηγηθούν οι παρατηρήσεις που προαναφέραμε; Γιατί μεταβάλλεται περιοδικά η διάρκεια της ημέρας και της νύχτας και το μέγιστο ύψος του Ηλίου; Γιατί μετατοπίζονται τα σημεία της ανατολής και της δύσης του;

Οι απαντήσεις μπορούν να δοθούν, αν συνδυάσουμε τις δύο βασικές κινήσεις που κάνει η Γη, την περιστροφική γύρω από τον άξονά της και την ελλειπτική -σχεδόν κυκλική- περιφορά της γύρω από τον Ήλιο:

Η κατεύθυνση του άξονα περιστροφής της Γης μέσα σε ένα έτος διατηρείται πρακτικά σταθερή[1].

Ποια είναι όμως η κατεύθυνση αυτή σε σχέση με το επίπεδο της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο; Μπορούμε να κάνουμε τις εξής δύο σκέψεις:

α) Αν ο άξονας περιστροφής της Γης είναι κάθετος ή παράλληλος με το επίπεδο της τροχιάς της, κανένα από τα προηγούμενα φαινόμενα δε θα μπορούσε να παρατηρηθεί.

β) Αν ο άξονας περιστροφής της Γης σχηματίζει μια σταθερή οξεία γωνία[2] με το επίπεδο της τροχιάς της, τότε και τα τρία φαινόμενα μπορούν να εξηγηθούν.

ΕΤΗΣΙΑ ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΠΛΑΝΕΙΣ ΑΣΤΕΡΕΣ

Το ηλιοκεντρικό μοντέλο προβλέπει ότι ένας επίγειος παρατηρητής πρέπει να βλέπει τον Ήλιο να μεταβάλλει τη θέση του κατά τη διάρκεια του έτους, σε σχέση με τους αστέρες και τους αστερισμούς.

[1]Ο άξονας περιστροφής της Γης υφίσταται μετάπτωση. Δηλαδή διαγράφει μια κωνική επιφάνεια μέσα σε 26.000 χρόνια περίπου. Είναι φανερό ότι σε ένα χρόνο η αλλαγή της κατεύθυνσής του είναι ασήμαντη.

[2]Η γωνία αυτή έχει μετρηθεί και βρέθηκε ίση με 23° 27'.

Πραγματικά, μπορεί κανείς να διαπιστώσει εύκολα με τη βοήθεια του σχήματος 2.13 ότι η φαινόμενη αυτή κίνηση του Ηλίου προκύπτει από την περιστροφή της Γης γύρω από αυτόν.

Από κάθε σημείο της τροχιάς της Γης ο παρατηρητής βλέπει τον Ήλιο να προβάλλεται σε διαφορετικά σημεία της ουράνιας σφαίρας. Έτσι κατά τη διάρκεια κάθε έτους ο Ήλιος φαίνεται να περνά περιοδικά κοντά από συγκεκριμένους αστερισμούς. Οι δώδεκα γνωστότεροι από αυτούς ορίζουν το λεγόμενο **ζωδιακό κύκλο** (σχ. 2.14 και πίνακας 2.1).

Πώς όμως μπορεί να παρατηρηθεί η κίνηση του Ηλίου ως προς τους αστερισμούς, αφού κατά τη διάρκεια της ημέρας αυτοί δε διακρίνονται;

Για να το πετύχουμε, αρκεί να κάνουμε συστηματική καταγραφή των αστερισμών που μπορούμε να δούμε κοντά στον Ήλιο, όταν το φως του δεν είναι πολύ δυνατό, δηλαδή αμέσως μετά τη δύση του (σχ. 2.16).

Η ετήσια κίνηση του Ηλίου ως προς τους απλανείς αστέρες προσδιορίζει στην ουράνια σφαίρα έναν κύκλο με κέντρο τη Γη, που ονομάζεται **εκλειπτική.** Η εκλειπτική, όπως φαίνεται και από το σχήμα 2.14, δεν είναι παρά η προβολή της τροχιάς της Γης πάνω στην ουράνια σφαίρα.

2.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΟΡΑΤΗ ΚΑΙ ΑΟΡΑΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ Η/Μ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΩΝ

Με γυμνό μάτι μπορούμε να δούμε στον ασέληνο και χωρίς σύννεφα νυχτερινό ουρανό περίπου 5.000 αστέρες. Άλλοι φαίνονται λαμπροί, άλλοι αμυδροί και άλλοι συγχέονται μεταξύ τους. Στον ανήσυχο νου του παρατηρητή αναδύονται αμέσως δύο προβλήματα:

- Πώς θα μπορούσε να παρατηρήσει καλύτερα τα ουράνια σώματα που μόλις διακρίνει με το αβοήθητο μάτι του;
- Μήπως υπάρχουν και άλλα ουράνια αντικείμενα τόσο απομακρυσμένα και αμυδρά, που δεν μπορεί να τα δει;

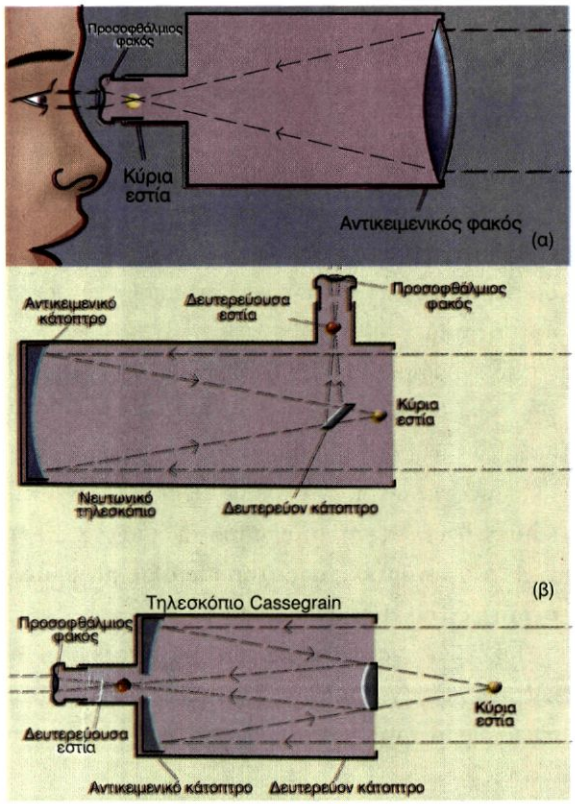
Για να παρατηρήσουμε καλύτερα τα ουράνια αντικείμενα χρησιμοποιούμε τα τηλεσκόπια. Πώς όμως το επιτυγχάνουμε αυτό;

Για να δούμε ένα αντικείμενο, πρέπει να φτάσουν στο μάτι μας φωτόνια που εκπέμπονται από αυτό. Όσα περισσότερα φτάνουν τόσο λαμπρότερο και καθαρότερο το βλέπουμε. Αντίθετα, αν ο αριθμός των φωτονίων που συλλέγουμε είναι μικρός, το διακρίνουμε αμυδρά ή και καθόλου.

Κάθε αστέρας εκπέμπει ανά δευτερόλεπτο έναν πολύ μεγάλο αριθμό φωτονίων, που διασκορπίζονται με την ίδια πιθανότητα προς κάθε κατεύθυνση του

Πίνακας 2.1: Οι αστερισμοί του ζωδιακού κύκλου

Διεθνής ονομασία	Ελληνική ονομασία	Ημερομηνία κατά την οποία ο Ήλιος προβάλλεται στον αντίστοιχο αστερισμό
Aries	Κριός	30 Απριλίου
Taurus	Ταύρος	30 Μαΐου
Gemini	Δίδυμοι	5 Ιουλίου
Cancer	Καρκίνος	30 Ιουλίου
Leo	Λέων	1 Σεπτεμβρίου
Virgo	Παρθένος	11 Οκτωβρίου
Libra	Ζυγός	9 Νοεμβρίου
Scorpius	Σκορπιός	3 Δεκεμβρίου
Sagittarius	Τοξότης	7 Ιανουαρίου
Capricornus	Αιγόκερος	8 Φεβρουαρίου
Aquarius	Υδροχόος	25 Φεβρουαρίου
Pisces	Ιχθύες	27 Μαρτίου



Σχήμα 2.17α: Αρχή λειτουργίας ενός διοπτρικού τηλεσκοπίου: Ο αντικειμενικός φακός εστιάζει την ακτινοβολία που δέχεται από έναν αστέρα στην κύρια εστία του. Η θέση του προσοφθάλμιου ρυθμίζεται έτσι, ώστε οι κύριες εστίες των δύο φακών να ταυτίζονται.
Σχήμα 2.17β: Αρχή λειτουργίας κατοπτρικών τηλεσκοπίων: Το φως του αστέρα συλλέγεται από το πρωτεύον κάτοπτρο. Οι ανακλώμενες ακτίνες συγκλίνουν προς την κύρια εστία του κατόπτρου. Πριν όμως φτάσουν σ' αυτήν, ανακλώνται από το δευτερεύον κάτοπτρο και οδηγούνται προς τον προσοφθάλμιο φακό.

χώρου.

Ωστόσο η απόσταση που χωρίζει τη Γη, ακόμα και από τον κοντινότερο από αυτούς, είναι εξαιρετικά μεγάλη. Το αποτέλεσμα είναι να φτάνει στη Γη ένα πολύ μικρό ποσοστό του αρχικού αριθμού φωτονίων[1]. Επομένως, για να μπορέσουμε να διακρίνουμε τον αστέρα καλύτερα, πρέπει να συλλέξουμε όσο το δυνατόν περισσότερα από αυτά τα λίγα φωτόνια που φτάνουν στη Γη.

Η μεγαλοφυΐα του Γαλιλαίου άνοιξε το δρόμο για την αστρονομική παρατήρηση με τη χρησιμοποίηση για πρώτη φορά τηλεσκοπίου στην αστρονομική παρατήρηση. Το ιστορικό αυτό γεγονός πυροδότησε την αρχή μιας νέας εποχής για την Αστρονομία. Από το τηλεσκόπιο του Γαλιλαίου μέχρι τα μεγάλα σύγχρονα τηλεσκόπια που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη, καθώς και την πολύπλοκη τεχνολογία που τα υποστηρίζει, η πρόοδος που έχει συντελεστεί είναι εκπληκτική. Το ίδιο εκπληκτική είναι και η ποσότητα των πληροφοριών και των γνώσεων που έχει συσσωρευτεί.

Η κόρη του ματιού μας έχει στο σκοτάδι διάμετρο περίπου 8 mm. Είναι φανερό ότι πάνω της πέφτουν πολύ λιγότερα φωτόνια απ' ότι στην πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια ενός φακού ή κατόπτρου διαμέτρου, π.χ. 500 mm, που τον έχουμε στρέψει προς το ίδιο ουράνιο σώμα. Αν λοιπόν συγκεντρώσουμε τα φωτόνια αυτά και τα διοχετεύσουμε με κατάλληλο τρόπο στο μάτι μας, η εικόνα που θα σχηματιστεί θα είναι λαμπρότερη και διαυγέστερη από αυτή που βλέπουμε με γυμνό μάτι. Ή, ακόμα, είναι πιθανό να διακρίνουμε αντικείμενα τόσο αμυδρά που δεν μπορούν να παρατηρηθούν με γυμνό μάτι μόνο. Στη λογική αυτή στηρίζεται η κατασκευή των τηλεσκοπίων κάθε είδους. Πρέπει εδώ να τονιστεί ένα συμπέρασμα που προκύπτει από την προηγούμενη ανάλυση:

Η κυριότερη λειτουργία ενός τηλεσκοπίου είναι η συγκέντρωση όσο το δυνατόν περισσότερων φωτονίων από την ακτινοβολία που εκπέμπει ένα ουράνιο σώμα.

Εκτός από την ικανότητα συγκέντρωσης της ακτινοβολίας, ένα τηλεσκόπιο χαρακτηρίζεται και από άλλες δύο ιδιότητες:

-Τη **διακριτική του ικανότητα** και

-Τη **μεγεθυντική του ισχύ.**

Η διακριτική ικανότητα εκφράζει τη δυνατότητα που μας δίνει ένα τηλεσκόπιο να δούμε ξεχωριστά δύο αντικείμενα που φαίνονται συγκεχυμένα με γυμνό μάτι, λόγω της μικρής γωνιακής τους απόστασης.

Μεγεθυντική ισχύς ή απλά μεγέθυνση ονομάζεται η φαινόμενη αύξηση του μεγέθους[1] (διαστάσεων) του παρατηρούμενου (με το τηλεσκόπιο) αντικειμένου ως προς το ορατό-με γυμνό μάτι- μέγεθός του. Η μεγεθυντική ισχύς[2] είναι σημαντική μόνο για παρατηρήσεις των ουράνιων σωμάτων του ηλιακού μας συστήματος. Η

[1] *Ας υποθέσουμε ότι μια σημειακή φωτεινή πηγή εκπέμπει ομοιόμορφα προς κάθε κατεύθυνση φωτόνια. Τότε ο αριθμός των φωτονίων ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας που διέρχονται από μικρή επίπεδη επιφάνεια τοποθετημένη σε ένα σημείο του χώρου, κάθετα στη διεύθυνση της κίνησής τους, είναι αντιστρόφως ανάλογος προς το τετράγωνο της απόστασης του σημείου από την πηγή.*

[2] *Η μεγέθυνση είναι ίση με το λόγο της εστιακής απόστασης του αντικειμενικού φακού προς την εστιακή απόσταση του προσοφθάλμιου φακού.*

Εικόνα 2.18: Το διοπτρικό τηλεσκόπιο του Harvard College Observatory. Κατασκευάστηκε στα μέσα του 19ου αιώνα.

Εικόνα 2.19: Το κατοπτρικό τηλεσκόπιο του Νεύτωνα. Οι ακτίνες του φωτός συλλέγονται από ένα κοίλο πρωτεύον κάτοπτρο. Συγκλίνουν προς την κύρια εστία του και κατευθύνονται από ένα επίπεδο δευτερεύον κάτοπτρο προς τον προσοφθάλμιο φακό.

Εικόνα 2.20: Εικόνες παραβολικών ραδιοτηλεσκοπίων. α: κινητό διαμέτρου 100 μέτρων (Γερμανία). β: Κεραία ραδιοτηλεσκοπίου με διάμετρο 300 m που βρίσκεται στο Πουέρτο Ρίκο.

μεγέθυνση έχει μικρή αξία, αν δε συνδυάζεται με μεγάλη διακριτική ικανότητα.

• **Τα οπτικά τηλεσκόπια** λειτουργούν στην ορατή περιοχή του φάσματος. Δηλαδή, συγκεντρώνουν φωτόνια ορατής ακτινοβολίας.

Τα οπτικά τηλεσκόπια που χρησιμοποιούν για συλλέκτη της ακτινοβολίας ένα φακό ονομάζονται **διοπτρικά**, ενώ αυτά που χρησιμοποιούν κάτοπτρο, **κατοπτρικά.**

Στα σχήματα 2.17 α και β φαίνεται η αρχή λειτουργίας των διοπτρικών και των κατοπτρικών τηλεσκοπίων. Το τηλεσκόπιο που είχε χρησιμοποιήσει ο Γαλιλαίος ήταν διοπτρικό. Ο Νεύτωνας αντίθετα κατασκεύασε ένα κατοπτρικό τηλεσκόπιο (σχ. 2.19).

• **Αστρονομικές παρατηρήσεις σε μη ορατές περιοχές του Η/Μ φάσματος.**

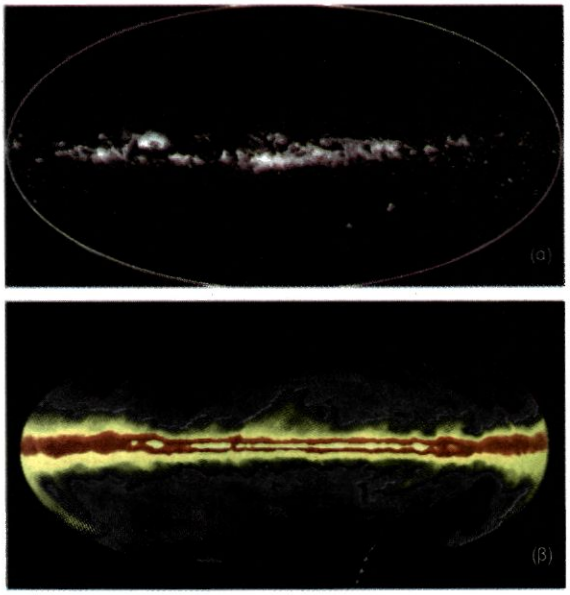
Τα ουράνια σώματα εκπέμπουν ακτινοβολία σε όλες τις περιοχές του Η/Μ φάσματος, δηλαδή στα ραδιοκύματα, στο υπέρυθρο, στο υπεριώδες, στις ακτίνες Χ και γ.

Τα τηλεσκόπια που συλλέγουν ραδιοκύματα ονομάζονται **ραδιοτηλεσκόπια.**

Η αρχή λειτουργίας τους μοιάζει με αυτή των οπτικών κατοπτρικών τηλεσκοπίων. Τα ραδιοκύματα συλλέγονται από μια ή περισσότερες κεραίες σχήματος πιάτου και εστιάζονται σε έναν ραδιοδέκτη (εικ. 2.20). Ο ραδιοδέκτης μετατρέπει το Η/Μ κύμα, με το οποίο είναι συντονισμένος, σε ηλεκτρική τάση η οποία με τη σειρά της, αφού ενισχυθεί, μπορεί να μετρηθεί και να καταγραφεί. Ακολουθεί επεξεργασία των δεδομένων με τη βοήθεια Η/Υ (εικ. 2.21).

Τα **τηλεσκόπια υπερύθρου** είναι κατοπτρικά τηλεσκόπια, στα οποία χρησιμοποιούνται ειδικοί ανιχνευτές υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η λειτουργία των ανιχνευτών στηρίζεται συνήθως στις θερμικές ιδιότητες της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Παρατηρήσεις στην περιοχή των υπέρυθρων ακτινοβολιών γίνονται τόσο από επίγεια όσο και από τροχιακά τηλεσκόπια. Ένα από τα πλέον επιτυχημένα τηλεσκόπια υπερύθρου σε τροχιά ήταν το IRAS (Infrared Astronomical Satellite), προϊόν της διεθνούς συνεργασίας των ΗΠΑ, Βρετανίας και Ολλανδίας.

Στα **τηλεσκόπια υπεριώδους** η συλλογή και η ανίχνευση της υπεριώδους ακτινοβολίας γίνεται με μέσα παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται για την ορατή. Στην περιοχή αυτή του Η/Μ φάσματος οι



Εικόνα 2.21: Εικόνες της ίδιας περιοχής του Γαλαξία. α: Σε ορατό φως. β: Εικόνα που σχηματίστηκε με βάση την εκπομπή, από το Γαλαξία, ραδιοκυμάτων μήκους κύματος 21cm. Τα ψευδο-χρώματα σχετίζονται με την ένταση της ακτινοβολίας. Η εκπομπή είναι ισχυρότερη στο κεντρικό επίπεδο του Γαλαξία.

παρατηρήσεις γίνονται αποκλειστικά από το διάστημα. Το τροχιακό τηλεσκόπιο IUE (International Ultraviolet Explorer), που εκτοξεύτηκε το 1978, είναι από τα πιο γνωστά και επιτυχημένα εγχειρήματα σε αυτόν τον τομέα αστρονομικών παρατηρήσεων.

Επίσης υπάρχουν σε λειτουργία **τηλεσκόπια ακτίνων Χ και γ,** που βρίσκονται πάνω σε αστρονομικούς δορυφόρους τοποθετημένους σε τροχιά γύρω από τη Γη.

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΙΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ

Οι ακτινοβολίες που εκπέμπονται από τα ουράνια σώματα και πλησιάζουν προς τη Γη, πρέπει να διαπεράσουν την ατμόσφαιρά της για να φτάσουν στο έδαφος. Γνωρίσαμε ήδη (στην παράγραφο 2.2) ότι οι περισσότερες από αυτές απορροφούνται από την ατμόσφαιρα:

- Οι ακτίνες Χ και γ από τα άτομα και τα μόρια του αζώτου και του οξυγόνου.
- Οι υπεριώδεις από το όζον.
- Οι υπέρυθρες από τους υδρατμούς και το διοξείδιο του άνθρακα.

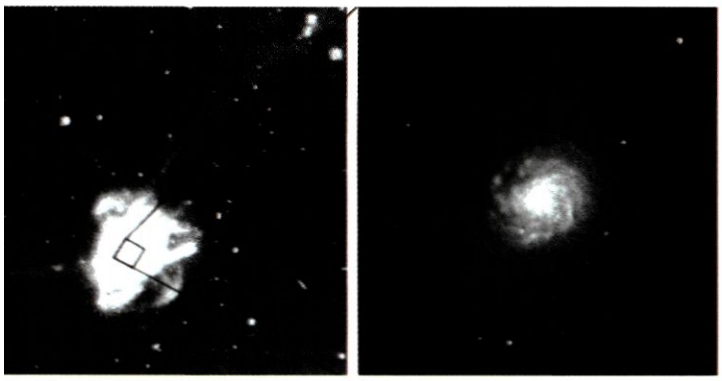
Το HST (Hubble Space Telescope) μεταφέρθηκε και τοποθετήθηκε σε τροχιά τον Απρίλιο του 1990 με το διαστημικό λεωφορείο Discovery (σχήμα 2.22). Οι προδιαγραφές του HST και οι προσδοκίες των επιστημόνων ήταν ανάλογες του κόστους του προγράμματος. Ωστόσο μετά την ενεργοποίησή του διαπιστώθηκαν κατασκευαστικά σφάλματα στο πρωτεύον κάτοπτρο, που περιόρισαν τους αρχικούς στόχους και σχέδια. Ακολούθησαν επισκευές και εγκατάσταση βοηθητικών συστημάτων που έγιναν από μεταγενέστερες αποστολές διαστημικών λεωφορείων. Σήμερα οι συνέπειες των κατασκευαστικών λαθών έχουν αντισταθμιστεί σε μεγάλο βαθμό και οι πληροφορίες που λαμβάνονται από το HST είναι εξαιρετικά σημαντικές.

- Τα ραδιοκύματα μεγάλου μήκους κύματος ανακλώνται από το ανώτερο ιονισμένο τμήμα της ατμόσφαιρας, που ονομάζεται **ιονόσφαιρα**.

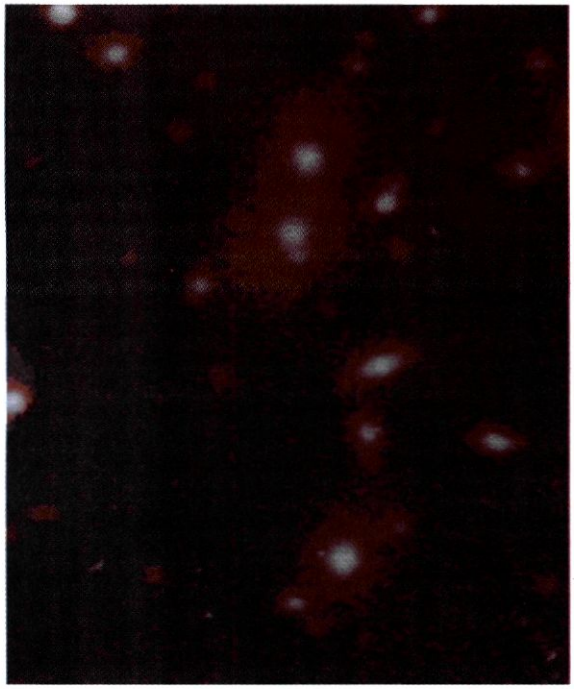
Έτσι λοιπόν στο έδαφος φτάνουν μόνον ακτινοβολίες που ανήκουν στην ορατή περιοχή και σε ένα μέρος της περιοχής του υπερύθρου και των ραδιοκυμάτων. Δεν είναι, επομένως, δυνατές αστρονομικές παρατηρήσεις από επίγεια τηλεσκόπια στην περιοχή του υπεριώδους, και στις ακτίνες Χ και γ.

Ωστόσο, ακόμα και οι παρατηρήσεις που γίνονται με επίγεια οπτικά τηλεσκόπια, επηρεάζονται σημαντικά από την ατμόσφαιρα. Η βασική αιτία αυτής της επίδρασης είναι η διαρκής και απρόβλεπτη μεταβολή της πυκνότητας των στρωμάτων του αέρα, μέσα από

Εικόνα 2.22: Το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble. Στην εικόνα φαίνεται και μέρος του διαστημοπλοίου Discovery, με το οποίο μεταφέρθηκε και τέθηκε σε τροχιά γύρω από τη Γη.



Εικόνα 2.23: Σύγκρουση γαλαξιών: Εικόνα από επίγειο τηλεσκόπιο και μέρος της εικόνας, όπως καταγράφηκε από το HST. Λόγω της έλλειψης της παρεμβολής της ατμόσφαιρας, το HST μπορεί να αναλύσει αντικείμενα που φαίνονται συγκεχυμένα από τα επίγεια τηλεσκόπια.



Εικόνα 2.24: Εικόνα μιας ομάδας γαλαξιών που έχει ληφθεί με CCD κάμερα. Τα χρώματα που φαίνονται έχουν προστεθεί κατά την επεξεργασία της εικόνας από τον Η/Υ. Το λευκό αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή της έντασης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και το μπλε στην ελάχιστη.

τα οποία διέρχεται η συλλεγόμενη ακτινοβολία.

Το αποτέλεσμα της επίδρασης της ατμόσφαιρας στην παρατήρηση ενός ουράνιου αντικειμένου, είναι η συνεχής μετατόπιση του ειδώλου του και η αυξομείωση της λαμπρότητάς του.

Την τελευταία μπορούμε να την πιστοποιήσουμε και με γυμνό μάτι. Πρόκειται για το τρεμόσβημα των αστέρων που παρατηρούμε, όταν κοιτάζουμε το νυχτερινό ουρανό.

Για να περιοριστούν αυτές οι ανεπιθύμητες παρεμβολές της ατμόσφαιρας στις αστρονομικές παρατηρήσεις, τα τηλεσκόπια εγκαθίστανται σε προσεκτικά επιλεγμένες τοποθεσίες. Επιλέγονται θέσεις σε μεγάλα υψόμετρα, με μικρές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της νύκτας, με διαφανή ατμόσφαιρα, μικρή νέφωση και λίγους ανέμους.

Ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης των προβλημάτων στις αστρονομικές παρατηρήσεις, που προέρχονται από την ατμόσφαιρα είναι η τοποθέτηση των τηλεσκοπίων έξω από αυτήν στο διάστημα. Πραγματικά, σήμερα υπάρχουν σε τροχιά γύρω από τη Γη τηλεσκόπια υπερύθρου, υπεριώδους, ακτίνων Χ και γ, καθώς και το γνωστό μας διαστημικό τηλεσκόπιο HST (εικ. 2.22).

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

Η επεξεργασία των δεδομένων των αστρονομικών παρατηρήσεων γίνεται σήμερα με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Αυτό επιτυγχάνεται με την κωδικοποίηση των πληροφοριών που συλλέγονται από τα επίγεια ή τα τροχιακά τηλεσκόπια σε ψηφιακή (digital) μορφή.

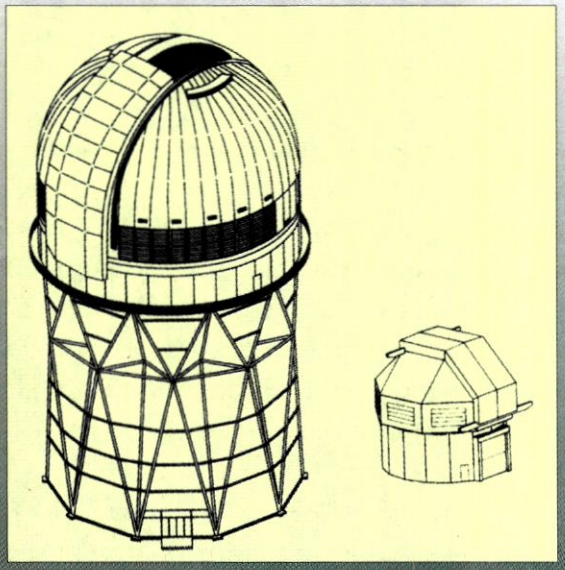
Η μορφή αυτή προκύπτει κατευθείαν από τους ηλεκτρονικούς ανιχνευτές ακτινοβολίας, όπως είναι οι μετρητές φωτονίων, οι φωτοβολταϊκές διατάξεις, τα στοιχεία συζευγμένου φορτίου CCDs (Charge Coupled Devices) κ.ά.

Η λογική των διατάξεων αυτών είναι η μετατροπή της λαμβανόμενης ακτινοβολίας σε αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα. Το ηλεκτρικό σήμα μετατρέπεται στη συνέχεια από τον υπολογιστή σε εικόνα.

Η εικόνα μορφοποιείται με διάφορους τρόπους. Μπορεί, για παράδειγμα, ο υπολογιστής να χρησιμοποιήσει ενδεικτικά χρώματα που αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές της έντασης της αρχικής ακτινοβολίας (false-color map) (εικ. 2.21β και 2.24).

ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΑ ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ

Η δεκαετία του 1990 ήταν η εποχή που έδωσε μεγάλη ώθηση στην Αστρονομία με τη κατασκευή και τοποθέτηση σε τροχιά του HST. Όμως και πολλά άλλα επίγεια τηλεσκόπια κατασκευάστηκαν με πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες από τα ήδη υπάρχοντα. Τα νέα αυτά τηλεσκόπια έχουν κάτοπτρα με διαμέτρους πολύ μεγαλύτερες, είναι ελαφρύτερα και μικρότερων διαστάσεων. Στην κατηγορία αυτή των τηλεσκοπίων ανήκουν, για παράδειγμα, τα δίδυμα τηλεσκόπια KeckI, KeckII (με διάμετρο 10 m) στη Χαβάη και το VLT στη Χιλή (τέσσερα τηλεσκόπια των 8 m το καθένα). Η διακριτική τους ικανότητα μπορεί να συγκριθεί με αυτή του HST.



Σχήμα 2.25: Σύγκριση των διαστάσεων ενός παλαιού τύπου θόλου αστεροσκοπείου με ένα θόλο αστεροσκοπείου νέας γενιάς.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ (CCDs)

Στα CCDs τα φωτόνια της ακτινοβολίας που έχει συλλέξει το τηλεσκόπιο προσπίπτουν πάνω σε κατάλληλα διαμορφωμένη επιφάνεια, που έχει χωριστεί σε μικρές περιοχές (pixels). Σε κάθε pixel ελευθερώνεται από τα φωτόνια ένας αριθμός ηλεκτρονίων, ανάλογος προς τον αριθμό των φωτονίων που προσπίπτουν σε αυτό. Ακολουθεί μέτρηση και απομάκρυνση του φορτίου από κάθε pixel και καταχώριση των δεδομένων σε έναν υπολογιστή.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ

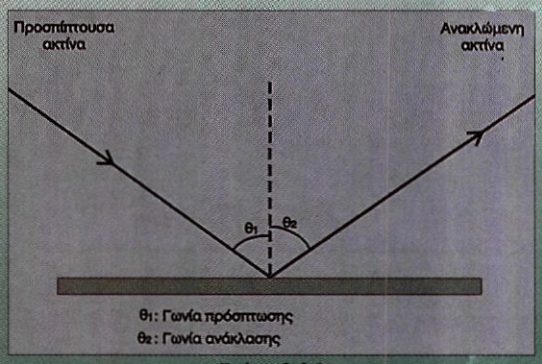
*Στα πλαίσια της Γεωμετρικής Οπτικής μελετάμε τα φαινόμενα της ανάκλασης και διάθλασης του φωτός χρησιμοποιώντας την έννοια **της φωτεινής ακτίνας.** Γενικά, ακτίνα ενός Η/Μ κύματος ορίζουμε κάθε διεύθυνση διάδοσης της ορμής και της ενέργειας του κύματος. Όταν το κύμα διαδίδεται μέσα σε ένα ομογενές και ισότροπο μέσο, οι ακτίνες είναι ευθείες γραμμές.*

Ανάκλαση του φωτός. *Μια ακτίνα φωτός που διαδίδεται στον αέρα προσπίπτει πάνω στη γυαλιστερή επιφάνεια ενός επαργυρωμένου μετάλλου. Τότε το φως αλλάζει απότομα διεύθυνση διάδοσης συνεχίζοντας να κινείται στον αέρα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ανάκλαση.*

Η διεύθυνση της ανακλώμενης ακτίνας δεν είναι τυχαία. Μπορεί να προβλεφτεί με βάση τους νόμους της ανάκλασης:

1) Η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη ακτίνα βρίσκονται πάνω σ' ένα επίπεδο που είναι κάθετο στην επιφάνεια ανάκλασης.

2) Οι γωνίες, που σχηματίζουν η προσπίπτουσα και η



Σχήμα 2.26

ανακλώμενη ακτίνα με την κάθετη στην επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης είναι ίσες (σχ. 2.26):

$$\theta_1=\theta_2$$

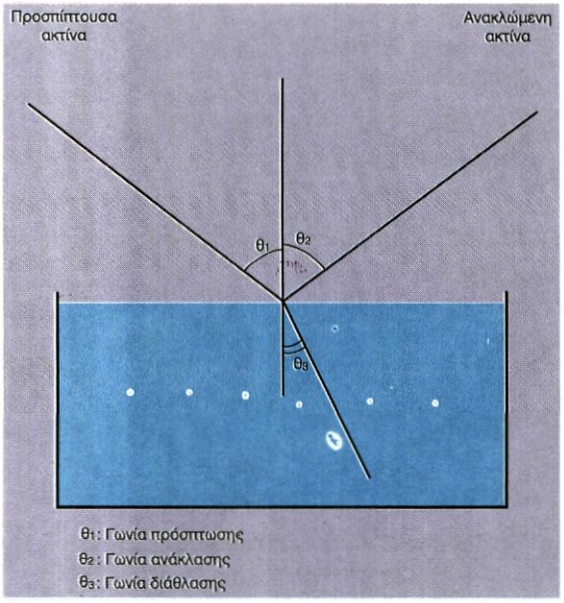
Διάθλαση του φωτός. *Μια ακτίνα φωτός προσπίπτει πάνω στην επίπεδη επιφάνεια νερού που ισορροπεί μέσα σε ένα δοχείο. Τότε παρατηρούμε ότι σχηματίζονται δύο ακτίνες: Μια ανακλώμενη, σύμφωνα με τα όσα ήδη είπαμε για την ανάκλαση, και μια δεύτερη που διαδίδεται μέσα στο νερό (σχ. 2.27). Δηλαδή, ένα μέρος του φωτός που προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων -π.χ. αέρα και νερού- εισχωρεί από το ένα στο άλλο αλλάζοντας διεύθυνση διάδοσης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διάθλαση. Η διεύθυνση της διαθλώμενης ακτίνας ικανοποιεί τους νόμους της διάθλασης:*

1) Η διαθλώμενη ακτίνα βρίσκεται πάνω στο ίδιο επίπεδο με την προσπίπτουσα και την ανακλώμενη.

2) Ο λόγος των ημιτόνων της γωνίας πρόσπτωσης και της γωνίας διάθλασης είναι σταθερός:

$$\eta\mu\theta_1 / \eta\mu\theta_3=\mathbf{n}_{A\text{-}N}$$

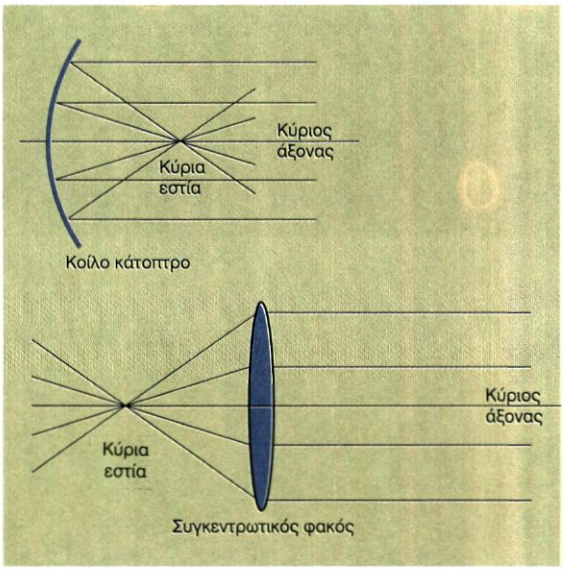
Η σταθερά $\mathbf{n}_{A\text{-}N}$ *ονομάζεται σχετικός δείκτης διάθλασης του νερού ως προς τον αέρα. Εξαρτάται από τις ιδιότητες των δύο μέσων και από τη συχνότητα του προσπίπτοντος Η/Μ κύματος.*



Σχήμα 2.27

Κάτοπτρα - Φακοί. *Στους νόμους της ανάκλασης και της διάθλασης στηρίζεται η κατασκευή των κατόπτρων και των φακών, αντίστοιχα. Το σχήμα και η υφή των επιφανειών τους προσδιορίζει τις προδιαγραφές και τους σκοπούς της κατασκευής τους. Συνήθως είναι επιφάνειες συμμετρικές, κυρτές ή κοίλες. Θεωρητικά παράγονται κατά την περιστροφή μιας καμπύλης γύρω από τον άξονα συμμετρίας της, που ονομάζεται και «κύριος άξονας» του κατόπτρου ή του φακού. Έτσι έχουμε φακούς και κάτοπτρα επίπεδα, σφαιρικά, παραβολοειδή, ελλειψοειδή, υπερβολοειδή κ.ά.*

Γωνία διάθλασης: *είναι η γωνία που σχηματίζει η διαθλώμενη ακτίνα με την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια.*



Σχήμα 2.28

Βασικό χαρακτηριστικό των κατόπτρων και των φακών είναι οι «κύριες εστίες» τους.

Κύρια εστία ενός κατόπτρου είναι το σημείο του κύριου άξονα στο οποίο συγκλίνουν οι ανακλώμενες ακτίνες -ή οι προεκτάσεις τους- που προέρχονται από προσπίπτουσα δέσμη παράλληλη στον κύριο άξονα του κατόπτρου. Αντίστοιχα, κύρια εστία ενός φακού είναι το σημείο του κύριου άξονα, στο οποίο συγκλίνουν οι ακτίνες -ή οι προεκτάσεις τους- φωτεινής δέσμης παράλληλης στον κύριο άξονα του φακού, μετά τη διέλευσή τους από αυτόν (βλ. σχήμα 2.28).

Τα πρωτεύοντα κάτοπτρα που χρησιμοποιούνται στα οπτικά τηλεσκόπια πρέπει να πληρούν δύο βασικές

προϋποθέσεις:

α) Να έχουν μεγάλη διάμετρο, ώστε να συλλέγουν όσο το δυνατόν περισσότερα φωτόνια.

β) Να εστιάζουν τις φωτεινές ακτίνες που εκπέμπονται από τους μακρινούς αστέρες σε μια σχεδόν σημειακή περιοχή.

Αποδεικνύεται ότι ένα παραβολοειδές κάτοπτρο με μεγάλη διάμετρο ικανοποιεί τις απαιτήσεις αυτές. Ωστόσο η κατασκευή του είναι εξαιρετικά δύσκολη και δαπανηρή. Οι τεχνικές δυσκολίες και το κόστος της κατασκευής αυξάνονται θεαματικά με το μέγεθος του κατόπτρου.

Παραβολοειδής επιφάνεια: είναι η επιφάνεια που προκύπτει, αν περιστρέψουμε μια παραβολή γύρω από τον άξονα συμμετρίας της.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

• Η ερμηνεία και κατανόηση των φυσικών φαινομένων γίνεται με τη βοήθεια θεωρητικών μοντέλων. Η κατασκευή των μοντέλων στηρίζεται πάνω σε κατάλληλες έννοιες και σχέσεις που απορρέουν από τη λογική και τα μαθηματικά. Η διαμόρφωση, ο έλεγχος και η εξέλιξή τους γίνεται μέσω της παρατήρησης και του πειράματος.

• Η επιβεβαίωση ή η διάψευση των θεωρητικών μοντέλων της Αστρονομίας γίνεται κυρίως μέσω των αστρονομικών παρατηρήσεων. Τα παρατηρησιακά δεδομένα αναδύονται από την επεξεργασία των ακτινοβολιών που φτάνουν στη Γη και συλλέγονται από τα τηλεσκόπια.

• Λόγω της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της, μας δημιουργείται η ψευδαίσθηση ότι όλα τα ουράνια σώματα διαγράφουν κύκλους γύρω από τον άξονα βορείου- νοτίου πόλου της ουράνιας σφαίρας.

• Το διάστημα που διανύουν στο χώρο οι απλανείς αστέρες μέσα σε μια ανθρώπινη ζωή είναι ασήμαντο σε σχέση με τις μεταξύ τους αποστάσεις. Γι' αυτό οι γωνιακές αποστάσεις μεταξύ των απλανών αστέρων φαίνονται αμετάβλητες από έναν επίγειο παρατηρητή. Έτσι, μπορούμε να παρατηρήσουμε στον ουρανό σταθερούς σχηματισμούς αστέρων, που τους ονομάζουμε αστερισμούς.

• Κάθε επίγειος παρατηρητής μπορεί να διαπιστώσει ότι οι πλανήτες, ο Ήλιος και η Σελήνη κινούνται σε σχέση τους απλανείς αστέρες.

• Η διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, καθώς και το μέγιστο ύψος του Ήλιου μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια του έτους. Η μεταβολή αυτή οφείλεται στην κλίση του άξονα περιστροφής της Γης ως προς το επίπεδο της τροχιάς της.

• Ο Ήλιος φαίνεται από έναν επίγειο παρατηρητή ότι κινείται ως προς τους απλανείς αστέρες. Μέσα σε ένα έτος διαγράφει ένα μέγιστο κύκλο της ουράνιας σφαίρας, που ονομάζεται εκλειπτική. Η φαινόμενη αυτή κίνηση του Ήλιου οφείλεται στην κίνηση της Γης γύρω απ' αυτόν.

• Η συγκέντρωση φωτονίων, η διάκριση κοντινών αντικειμένων και η μεγέθυνση της εικόνας είναι οι βασικές λειτουργίες ενός τηλεσκοπίου. Εκτός από τα οπτικά τηλεσκόπια που λειτουργούν στην ορατή περιοχή του Η/Μ φάσματος, υπάρχουν και τηλεσκόπια που συλλέγουν ακτινοβολίες από τις μη ορατές περιοχές -ραδιοκύματα, υπέρυθρες, υπεριώδεις, ακτινοβολίες Χ και γ.

• Η ατμόσφαιρα της Γης προκαλεί σοβαρά προβλήματα στις αστρονομικές παρατηρήσεις που γίνονται από το έδαφος. Με τα τροχιακά τηλεσκόπια εξουδετερώθηκαν οι ατμοσφαιρικές παρεμβολές και άνοιξαν νέοι ορίζοντες για την αστρονομική παρατήρηση.

• Οι ψηφιακοί ανιχνευτές ακτινοβολίας και η επεξεργασία των παρατηρησιακών δεδομένων με τους Η/Υ έχουν αυξήσει σημαντικά τον όγκο και την ποιότητα των πληροφοριών που μπορούμε να αντλήσουμε σήμερα από τις αστρονομικές παρατηρήσεις.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου που χρησιμοποιεί: (α) η Φυσική, (β) η Αστρονομία, (γ) τα Μαθηματικά; Προσπάθησε να εντοπίσεις τις ομοιότητες και τις διαφορές τους.

2. Προσπάθησε να εξηγήσεις το βασικό επιχείρημα

εναντίον του ηλιοκεντρικού μοντέλου κατά την αρχαιότητα χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο σχήμα.

3. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά της αστρονομικής παρατήρησης; Πώς γίνεται η επεξεργασία των παρατηρησιακών δεδομένων;

4. Α).Το σύρμα ενός λαμπτήρα πυρακτώσεως έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία όταν:

α) φαίνεται ερυθρό.

β) φαίνεται ανοιχτό γαλάζιο.

Β) Μπορούμε να παρατηρήσουμε στον ουρανό αστέρες που φαίνονται ερυθρωποί και άλλους που φαίνονται φωτεινοί γαλάζιοι. Τι συμπέρασμα συνάγουμε για τη θερμοκρασία τους;

Αιτιολόγησε τις απαντήσεις σου.

5. Σε ποια σημεία του ορίζοντα ανατέλλει και δύει ο Ήλιος κατά την εαρινή ισημερία;

Πώς μετακινούνται τα σημεία της ανατολής και της δύσης στο χρονικό διάστημα μεταξύ της εαρινής ισημερίας και του θερινού ηλιοστασίου;

6. Στις 22 Ιουνίου βρίσκεσαι ακριβώς στο βόρειο πόλο. Κάνε μια περιγραφή της ημερήσιας κίνησης του Ηλίου που θα παρατηρήσεις.

7. Βρίσκεσαι ακριβώς στο βόρειο πόλο και στερεώνεις σε σταθερό σημείο ένα εκκρεμές.

α) Αν το εκκρεμές ισορροπεί, ποιον αστέρα θα συναντήσει στην ουράνια σφαίρα η προέκταση του νήματός του;

β) Εκτρέπεις το εκκρεμές από τη θέση της ισορροπίας του και το αφήνεις ελεύθερο. Το σφαιρίδιο θα ταλαντωθεί πάνω σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Πώς θα κινηθεί το επίπεδο αυτό μέσα σε 24 ώρες

β1) σε σχέση με το έδαφος.

β2) σε σχέση με τους απλανείς αστέρες;

Προσπάθησε να στηρίξεις την άποψή σου.

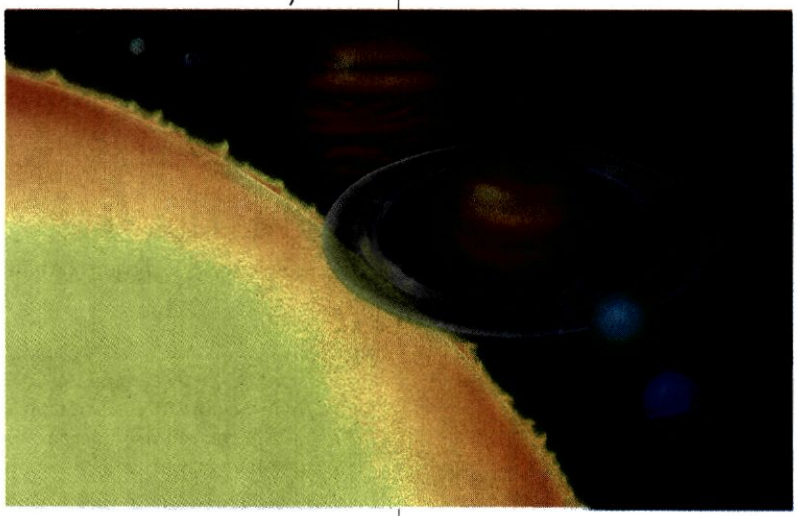
8. α) Γιατί επιδιώκεται να κατασκευάζονται τα τηλεσκόπια με όσο το δυνατό μεγαλύτερο πρωτεύον κάτοπτρο;

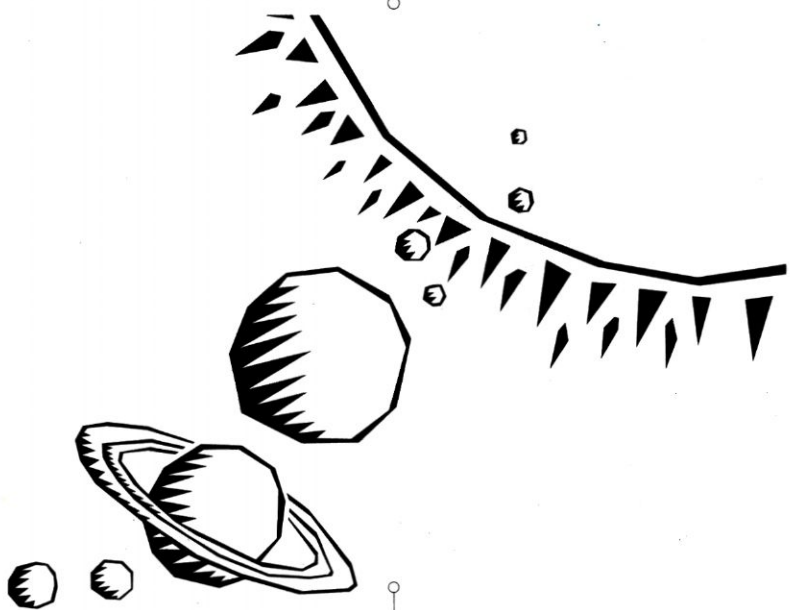
β) Γιατί στην ανακλαστική επιφάνεια του πρωτεύοντος κατόπτρου ενός τηλεσκοπίου δίνεται σχήμα παραβολοειδές;

γ) Ποιος είναι ο ρόλος του προσοφθάλμιου φακού;

9. Για ποιο λόγο τοποθετούνται τηλεσκόπια σε τροχιά γύρω από τη Γη, παρά το μεγάλο τους κόστος;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ





ΤΟ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΤΟ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

«Και με τον Ήλιο, Κρόνος, Άρης, Γη, Αφροδίτη, σέρνονται, φεύγουν, τρέχουνε κυνηγημένοι προς του Ηρακλή το μεγαλόκοσμο μαγνήτη...»

Κωστής Παλαμάς, Ο έναστρος Ουρανός

(Από την Ασάλευτη Ζωή)

Εικόνα 3.1: Η φωτογραφία δείχνει ένα κομήτη στο νυχτερινό ουρανό.

Από τη καθημερινή εμπειρία αλλά και από αστρονομικές παρατηρήσεις έχει βρεθεί ότι στο κοντινό Διάστημα υπάρχουν ουράνια σώματα που κινούνται κοντά στη Γη: Πλανήτες, δορυφόροι, κομήτες, μετέωρα και μετεωρίτες. Όμως:

- Τι γνωρίζουμε γι' αυτά;
- Πώς κινούνται;
- Από τι αποτελούνται;
- Πως δημιουργήθηκαν;

3.1 ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΜΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ο Ήλιος είναι ένας κοινός αστέρας του Γαλαξία και βρίσκεται στο κέντρο του ηλιακού συστήματος. Γύρω από αυτόν περιφέρονται:

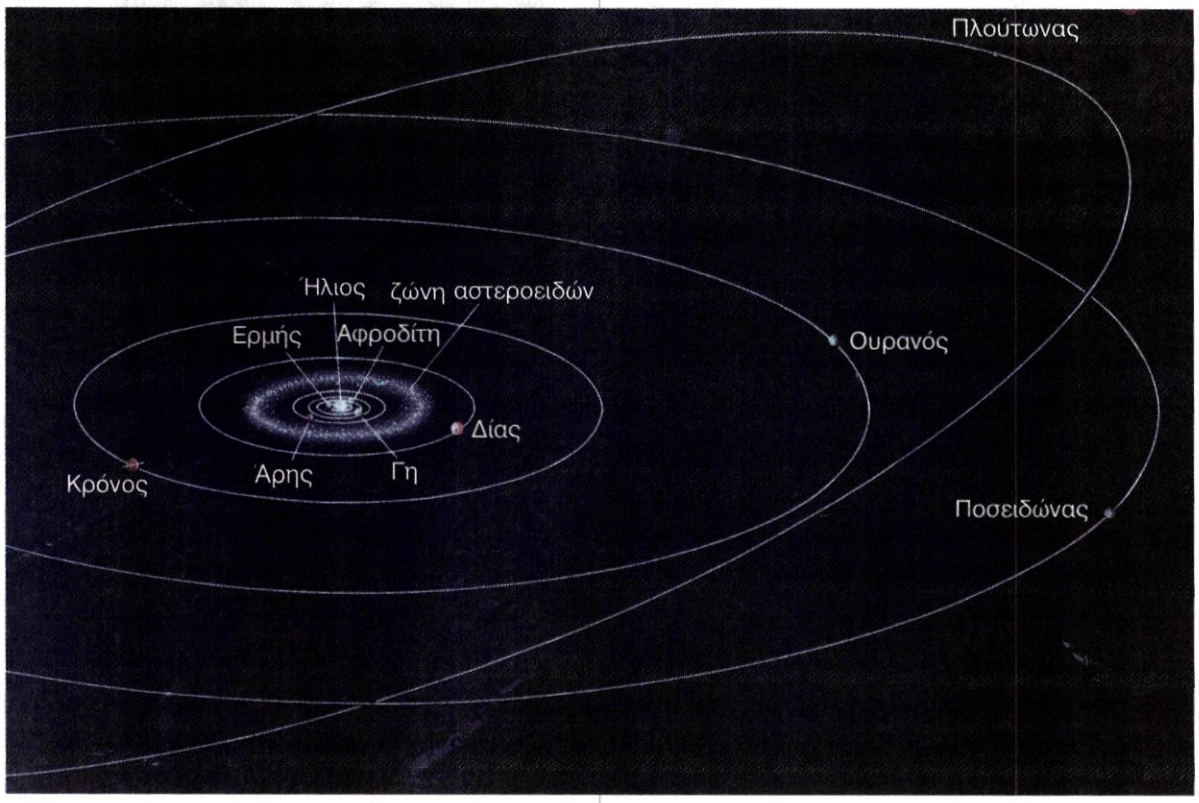
Οι αρχαίοι Έλληνες ονόμαζαν πλανήτες τα ετερόφωτα ουράνια σώματα που κινούνταν και άλλαζαν συνεχώς θέση ανάμεσα στα άλλα άστρα στον ουράνιο θόλο. Κατ' αυτούς πλανήτες ήταν ο Ήλιος, η Σελήνη, ο Ερμής, η Αφροδίτη, ο Άρης, ο Δίας και ο Κρόνος.
Ο Στοβαίος (γραμματικός του 5ου μ.Χ. αιώνα) γράφει σχετικά:
Επτά πλανήτες αστέρες οδεύουσι τας τρίβους του θείου Ολύμπου και μετ' αυτών υφαίνεται η ανθρωπότης η Σελήνη η λάμπουσα την νύκτα ο πένθιμος Κρόνος, ο γλυκύς Ήλιος, η Παφία Αφροδίτη, προστάτης του Υμεναίου, ο θαρραλέος Άρης, ο γόνιμος Ερμής και ο Ζευς, εξ ου πάσα πνοή, πηγή αυτός πάσης φυσικής ζωής...

- οι εννέα γνωστοί πλανήτες με τους δορυφόρους τους.
- οι αστεροειδείς ή μικροί πλανήτες που κινούνται ανάμεσα στον Άρη και το Δία.
- κομήτες (αγνώστου αριθμού).
- απειράριθμα μετέωρα και μεσοπλανητική ύλη.

Οι εννέα πλανήτες με τους δορυφόρους τους καθώς και οι αστεροειδείς περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο, ανάλογα με την απόστασή τους από αυτόν, με την εξής σειρά (σχ. 3.3): Ερμής, Αφροδίτη, Γη,

Πλανήτες	Αριθμός δορυφόρων μέχρι σήμερα
Ερμής	0
Αφροδίτη	0
Γη	1
Άρης	2
Δίας	16
Κρόνος	22
Ουρανός	17
Ποσειδώνας	8
Πλούτωνας	1

Πίνακας 3.2: Οι πλανήτες και οι δορυφόροι τους.



Σχήμα 3.3: Σχηματική αναπαράσταση των τροχιών των πλανητών γύρω από τον Ήλιο. Βρίσκονται όλες σχεδόν στο ίδιο επίπεδο εκτός της τροχιάς του Πλούτωνα.

Άρης, αστεροειδείς, Δίας, Κρόνος, Ουρανός, Ποσειδώνας και Πλούτωνας.

Οι πλανήτες διαιρούνται σε δύο κατηγορίες: Ανάλογα με τη θέση τους ως προς τη Γη, σε **εσωτερικούς,** που είναι ο Ερμής και η Αφροδίτη, και σε **εξωτερικούς,** που είναι οι πέρα από τη Γη.

Ανάλογα με τη σύσταση και την πυκνότητά τους διακρίνονται, σε **γήινους** πλανήτες, που είναι οι Ερμής, Αφροδίτη, Γη και Άρης, και σε **δίους** που είναι οι υπόλοιποι πλανήτες, εκτός από τον Πλούτωνα.

Οι περισσότεροι πλανήτες έχουν δορυφόρους οι οποίοι περιφέρονται γύρω από αυτούς, όπως ακριβώς οι πλανήτες περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.2, τους πιο πολλούς δορυφόρους έχει ο Κρόνος· μέχρι σήμερα έχουν ανακαλυφθεί 22. Ωστόσο το πιο χαρακτηριστικό σύστημα πλανήτη - δορυφόρου είναι αυτό της Γης - Σελήνης. Λόγω του μεγέθους της Σελήνης σε σχέση με τη Γη, το σύστημα αυτό παρουσιάζει ξεχωριστό ενδιαφέρον και μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα σύστημα διπλού πλανήτη.

Οι αστεροειδείς ή μικροί πλανήτες είναι σώματα διάφορων διαστάσεων που περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο σε τροχιές ανάμεσα σ' αυτές του Άρη και του Δία.

Οι κομήτες είναι επίσης μικρά σώματα με ακαθόριστο σχήμα, των οποίων οι τροχιές περνούν πολύ κοντά από τον Ήλιο και χάνονται βαθιά μέσα στο διάστημα, συχνά πέρα από τον Πλούτωνα.

Ο χώρος ανάμεσα στους πλανήτες και τα άλλα μέλη του ηλιακού συστήματος περιέχει ύλη, γνωστή ως μεσοπλανητική ύλη. Αυτή αποτελείται από στερεά σωμάτια, λεπτότατη σκόνη και ηλεκτρομαγνητική

Πλανήτες	Απόσταση από τον Ήλιο σε A.U.
Ερμής	0,39
Αφροδίτη	0,72
Γη	1,0
Άρης	1,5
Δίας	5,2
Κρόνος	9,5
Ουρανός	19,2
Ποσειδώνας	30,1
Πλούτωνας	39,5

Πίνακας 3.4: Οι αποστάσεις των πλανητών από τον Ήλιο σε A.U.

ακτινοβολία.

Ο Ήλιος σε σχέση με τους πλανήτες έχει τεράστιο μέγεθος. Η **μάζα** του, για παράδειγμα, είναι περίπου 740 φορές μεγαλύτερη από τη συνολική μάζα όλων των πλανητών μαζί. Ο πίνακας 3.5 δείχνει την κατανομή της μάζας των μελών του ηλιακού συστήματος. Για να μετρηθούν οι τεράστιες αυτές μάζες, πολλές φορές συγκρίνονται με τη μάζα της Γης, η οποία στην περίπτωση αυτή λαμβάνεται ως μονάδα μέτρησης. Έτσι, για παράδειγμα, η μάζα του Δία είναι 318 γήινες μάζες.

Οι **αποστάσεις** μέσα στο ηλιακό σύστημα είναι πολύ μεγάλες για να μετρώνται με μονάδα μέτρησης το μέτρο και το χιλιόμετρο. Οι αστρονόμοι καθιέρωσαν ως μονάδα μέτρησης των αποστάσεων μέσα στο ηλιακό σύστημα την Αστρονομική Μονάδα (A.U., Astronomical Unit), η οποία είναι ίση με τη μέση απόσταση Γης - Ηλίου και ισούται με 149.600.000 Km περίπου. Κατά προσέγγιση γράφουμε:

1 A.U. = 150.000.000 Km

Οι αποστάσεις όλων των πλανητών από τον Ήλιο παρουσιάζονται στον πίνακα 3.4.

Ήλιος	99,85%
Πλανήτες	0,135%
Κομήτες **Δορυφόροι** **Αστεροειδείς** **Μετέωρα - Μετεωρίτες** **Μεσοπλανητική ύλη**	0,015%

Πίνακας 3.5: Η κατανομή της μάζας στο ηλιακό σύστημα.

3.2 ΦΑΙΝΟΜΕΝΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΩΝ

Η ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΩΝ

Από τους πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος παρατηρούνται με γυμνό μάτι από τη Γη μόνο ο

Στην Αστρονομία μονάδα μέτρησης των αποστάσεων είναι και το έτος φωτός (1 ε.φ.), που είναι η απόσταση που διανύει σε ένα έτος το φως με την ταχύτητα των 300.000 Km/sec. Ένα λεπτό φωτός είναι η απόσταση που διανύει το φως σε 1 min. Μπορείτε με βάση αυτή τη μονάδα να βρείτε τις αποστάσεις των πλανητών από τον Ήλιο (σε ε.φ.);

Σχήμα 3.6: Η φαινόμενη κίνηση του Άρη.

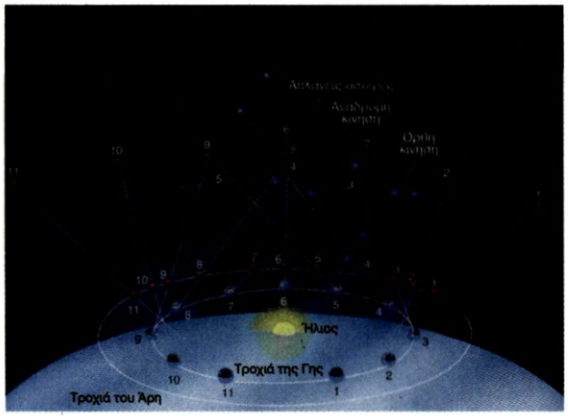
Ερμής, η Αφροδίτη, ο Άρης, ο Δίας και ο Κρόνος. Ο Ουρανός, ο Ποσειδώνας και ο Πλούτωνας παρατηρούνται μόνο με τη βοήθεια τηλεσκοπίου. Με γυμνό μάτι οι πλανήτες ξεχωρίζουν από τους αστέρες από το γεγονός ότι αλλάζουν θέσεις (πλανώνται) στην ουράνια σφαίρα σε σχέση με αυτούς. Οι πλανήτες ακολουθούν μια ιδιόμορφη τροχιά ανάμεσα στους αστέρες του ουρανού.

Αν παρατηρήσουμε τον Άρη κάθε νύχτα για μερικούς μήνες την εποχή που αυτός φαίνεται πιο λαμπρός, θα διαπιστώσουμε τα εξής: Στην αρχή κινείται αργά προς ανατολάς, μέσα στο ζωδιακό κύκλο και κοντά στην εκλειπτική. Αργότερα η ταχύτητά του ελαττώνεται και ο πλανήτης μοιάζει να σταματά για λίγο. Μετά, και για τρεις μήνες, αρχίζει να κινείται προς δυσμάς. Σιγά σιγά η ταχύτητα της προς δυσμάς κίνησής του μειώνεται και φαίνεται να σταματά για λίγο. Μετά ξαναρχίζει πάλι να κινείται προς ανατολάς (σχ. 3.6).

Η κίνηση λοιπόν του Άρη για την περίοδο αυτή βλέπουμε να δημιουργεί έναν **βρόχο**, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6. Όλοι οι πλανήτες δημιουργούν τέτοιους

Πλανήτες	διάρκεια βρόχου (ημέρες)	χρόνος μεταξύ διαδοχικών εμφανίσεων βρόχων (ημέρες)
Ερμής	34	116
Αφροδίτη	43	584
Άρης	83	780
Δίας	118	399
Ουρανός	139	378

Πίνακας 3.7: Η ανάδρομη κίνηση των πλανητών.



Σχήμα 3.8: Η εξήγηση της φαινόμενης κίνησης των πλανητών. Η Γη και ο Άρης, καθώς κινούνται γύρω από τον Ήλιο, βρίσκονται κάθε χρονική στιγμή σε διάφορετικές σχετικές θέσεις. Π.χ. στις θέσεις 1,2,3 κτλ. Η προβολή κάθε φορά της θέσης του Άρη στον ουρανό δημιουργεί στον επίγειο παρατηρητή τη φαινόμενη κίνησή του.

βρόχους κατά την κίνησή τους κοντά στην εκλειπτική, δεν έχουν όμως όλοι την ίδια διάρκεια (πίνακας. 3.7).

Η κίνηση αυτή των πλανητών, όπως την παρατηρεί ο επίγειος παρατηρητής, ονομάζεται **φαινόμενη κίνηση του πλανήτη** και οφείλεται στο συνδυασμό της κίνησης του πλανήτη και της Γης γύρω από τον Ήλιο. Η εξήγηση της κίνησης αυτής δίνεται στο σχήμα 3.8.

ΟΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΩΝ

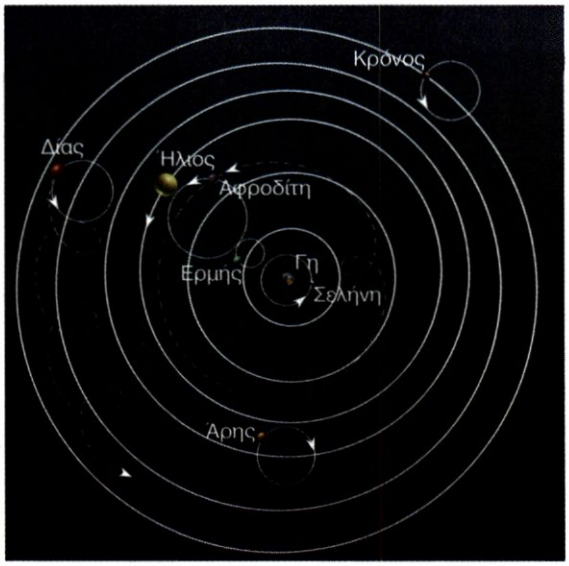
Κατά την περιφορά του γύρω από τον Ήλιο ένας εσωτερικός πλανήτης δείχνει προς τη Γη άλλοτε ολόκληρο (γεμάτο) το φωτιζόμενο δίσκο του, άλλοτε ένα μέρος του και άλλοτε χάνεται τελείως.

Έτσι ο πλανήτης παρουσιάζεται στον επίγειο παρατηρητή σε διάφορες φάσεις, όπως ακριβώς και η Σελήνη. Στο σχήμα 3.10 παρουσιάζονται οι διάφορες φάσεις της Αφροδίτης κατά την περιφορά της γύρω από τον Ήλιο καθώς και η εξήγησή τους.

Η προς ανατολάς κίνηση των πλανητών ονομάζεται **ορθή,** ενώ η προς δυσμάς ονομάζεται **ανάδρομη.**

Ο Ήλιος και η Σελήνη κινούνται πάντοτε προς ανατολάς.

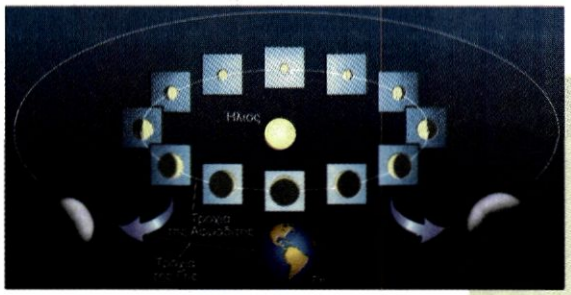
Η προσπάθεια να ερμηνευτεί στο πλαίσιο του γεωκεντρικού συστήματος από τους αρχαίους Έλληνες αστρονόμους το φαινόμενο των βρόχων κατά την κίνηση των πλανητών κορυφώθηκε με τη δημοσίευση από τον Κλαύδιο Πτολεμαίο (2ο αιώνας μ.Χ.) του βιβλίου του «Μεγάλη Μαθηματική Σύνταξη», γνωστή ως Μεγίστη. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό (σχ. 3.9), γνωστό ως Πτολεμαϊκό, οι πλανήτες κάνουν δύο κινήσεις. Διαγράφουν κυκλικές τροχιές, τους **επίκυκλους,** τα κέντρα των οποίων κινούνται σε κυκλικές τροχιές γύρω από τη Γη. Το Πτολεμαϊκό μοντέλο επικράτησε για πολλούς αιώνες.



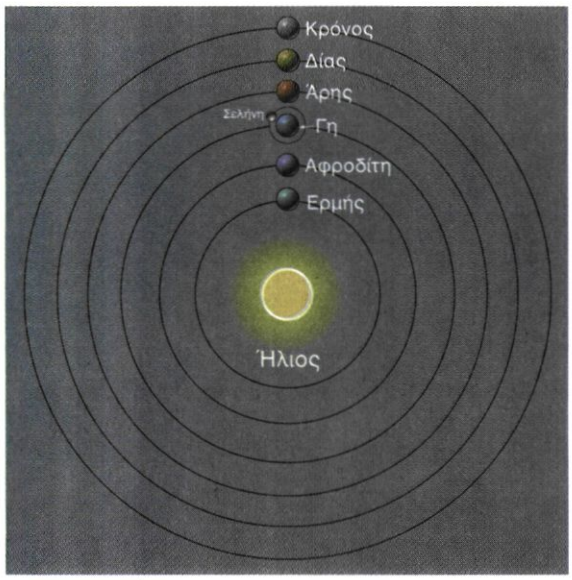
Σχήμα 3.9: Το Πτολεμαϊκό μοντέλο: Η Γη είναι ακίνητη στο κέντρο του Σύμπαντος. Οι πλανήτες και ο Ήλιος κινούνται γύρω από αυτήν σε κυκλικές τροχιές και ταυτόχρονα καθένας τους κινείται σε ένα κύκλο, τον επίκυκλο.

3.3 ΟΙ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΩΝ

Όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, η φαινόμενη κίνηση κάθε πλανήτη παρουσιάζει ιδιομορφίες (βρόχους), που αρχικά εξηγήθηκαν με τη βοήθεια του Πτολεμαϊκού μοντέλου. Ωστόσο η αδυναμία του μοντέλου αυτού να εξηγήσει τις κινήσεις όλων των πλανητών και κυρίως του Ερμή, έστρεψε την προσοχή των παρατηρητών προς την ιδέα του ηλιοκεντρικού συστήματος. Η ιδέα αυτή, ότι, δηλαδή, ο Ήλιος κατέχει το κέντρο των τροχιών όλων των πλανητών, είχε προταθεί από τους αρχαίους Έλληνες φιλοσόφους και κυρίως από τον Αρίσταρχο το Σάμιο (310-250 π.Χ.). Περίπου 1.800 χρόνια μετά τον Αρίσταρχο η ίδια ιδέα επανήλθε στο προσκήνιο από τον Πολωνό αστρονόμο Νικόλαο Κοπέρνικο.



Σχήμα 3.10: Η εξήγηση των φάσεων της Αφροδίτης: Ο παρατηρητής ανάλογα με τη θέση του ως προς την Αφροδίτη βλέπει ή ολόκληρο το φωτιζόμενο δίσκο της ή ένα μέρος του ή δεν το βλέπει καθόλου.



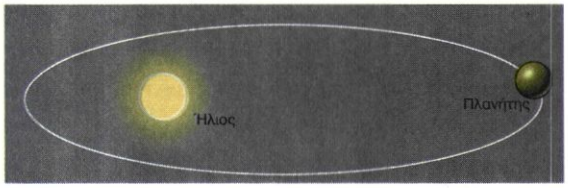
Σχήμα 3.11: Το Κοπερνίκειο σύστημα.
Ο Ήλιος είναι στο κέντρο του κόσμου. Όλοι οι πλανήτες (6 τον αριθμό) περιφέρονται σε κυκλικές τροχιές γύρω από αυτόν. Εξαίρεση αποτελεί η Σελήνη που περιφέρεται γύρω από τη Γη. Η απόσταση της Γης από τους αστέρες είναι μεγαλύτερη από την απόσταση της Γης από τον Ήλιο.

Η εξέλιξη ήταν γρήγορη. Ο Δανός αστρονόμος Τύχο Μπραχέ παρατήρησε και κατέγραψε συστηματικά τις κινήσεις των πλανητών για περισσότερα από 20 χρόνια. Ο Γιόχαν Κέπλερ (1571-1630) μελέτησε τα δεδομένα των παρατηρήσεων αυτών και διατύπωσε τους τρεις περίφημους νόμους του.

ΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΟΥ ΚΕΠΛΕΡ

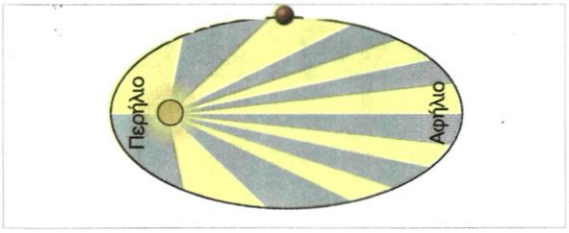
Πρώτος νόμος:

Οι τροχιές των πλανητών είναι ελλείψεις, στη μια εστία των οποίων βρίσκεται ο Ήλιος.



Δεύτερος νόμος:

Η ακτίνα που συνδέει τον Ήλιο με τον πλανήτη κατά την κίνησή του γύρω απ' αυτόν διαγράφει σε ίσους χρόνους επιφάνειες με ίσα εμβαδά.



Τρίτος νόμος:

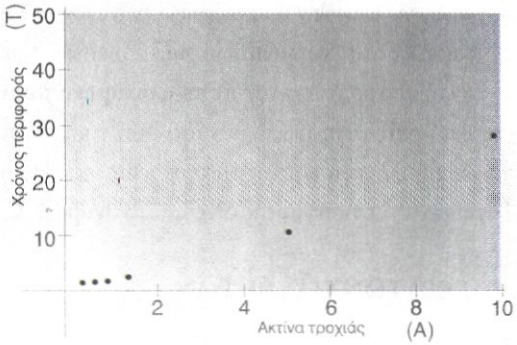
Ο λόγος του τετραγώνου του χρόνου περιφοράς ενός πλανήτη γύρω από τον Ήλιο προς τον κύβο του μεγάλου ημιάξονα της τροχιάς του (μέση ακτίνα) είναι σταθερός.[1]

$$\frac{T^2}{A^3} = \text{σταθερό}$$

T = χρόνος περιφοράς

A = μήκος του μεγάλου ημιάξονα της τροχιάς

Οι νόμοι του Κέπλερ παρ' ότι προσδιορίστηκαν εμπειρικά, έδωσαν απάντηση στα ερωτήματα για τις



Σχήμα 3.12: Γραφική παράσταση των σημείων (A,T) του πίνακα για τον 3ο νόμο του Κέπλερ. Έτσι επιβεβαιώνεται ότι αυτά επαληθεύουν το νόμο αυτό.

Γιόχαν Κέπλερ (1571-1630)

[1] *Μια άλλη έκφραση του 3ου νόμου του Κέπλερ δίνεται από τη σχέση* $\frac{4\pi^2 A^3}{T^2} = G(M_H + M_\Pi)$, *όπου* M_H *είναι η μάζα του Ηλίου,* M_Π *η μάζα του πλανήτη, G η παγκόσμια σταθερά της βαρύτητας και* $\pi = 3,14159...$

Ο παρακάτω πίνακας επιβεβαιώνει τον τρίτο νόμο του Κέπλερ.

Πλανήτης	Ακτίνα τροχιάς Α (Μονάδα μέτρησης η ακτίνα τροχιάς της Γης)	Χρόνος περιφοράς Τ (Μονάδα μέτρησης το έτος της Γης)	A^3	T^2	$\frac{T^2}{A^3}$
Ερμής	0,39	0,24	0,059	0,058	0,98
Αφροδίτη	0,72	0,62	0,37	0,384	1,03
Γη	1,00	1,00	1,00	1,000	1
Άρης	1,52	1,88	3,51	3,534	1,006
Δίας	5,20	11,86	140,6	140,66	1
Κρόνος	9,54	29,46	868,2	867,89	0,999

κινήσεις των πλανητών. Όμως η διατύπωση των νόμων αυτών γέννησε καινούργια ερωτήματα:

- Γιατί οι πλανήτες περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο και μάλιστα σε ελλειπτικές τροχιές;
- Γιατί η Σελήνη περιφέρεται γύρω από τη Γη και όχι γύρω από τον Ήλιο;
- Γιατί ισχύουν οι νόμοι του Κέπλερ;

Την ίδια εποχή περίπου που ο Κέπλερ διατυπώνει τους νόμους του κάνει την εμφάνισή του το τηλεσκόπιο. Ο Γαλιλαίος (1564-1642) παρατηρώντας το Δία τη νύκτα της 7ης Ιανουαρίου του 1610 ανακαλύπτει τέσσερις από τους δορυφόρους του. Ο Κέπλερ αντιλαμβάνεται ότι πρόκειται για μικρογραφία του ηλιακού συστήματος, η οποία επαληθεύει τους νόμους του και κυρίως τον τρίτο. Αυτή είναι μια πρώτη επιβεβαίωση των ισχυρισμών του.

Η πλήρης εξήγηση των τριών νόμων του Κέπλερ έρχεται αργότερα από το Νεύτωνα (1642-1727). Το 1687 στο κλασικό του βιβλίο Principia (Οι Μαθηματικές Αρχές της Φυσικής Φιλοσοφίας) θέτει τα θεμέλια της Νευτώνειας μηχανικής, διατυπώνοντας τους τρεις νόμους για τις κινήσεις των σωμάτων καθώς και το νόμο της παγκόσμιας έλξης (βαρύτητας).

Οι νόμοι του Κέπλερ αποκτούν τώρα θεωρητική βάση και πλέον εξηγούνται με τους νόμους της Μηχανικής.

ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΟΠΕΡΝΙΚΟ ΣΤΟΝ ΚΕΠΛΕΡ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΝΕΥΤΩΝΑ

Ένα σημαντικό πρόβλημα που απασχολούσε τους αρχαίους Έλληνες αστρονόμους και αυτούς της Αλεξανδρινής περιόδου [Αρίσταρχο το Σάμιο (310-250 π.Χ.), Ερατοσθένη τον Κυρηναίο (275-194 π.Χ.), Ίππαρχο (190-120 π.Χ.) κ.ά.] ήταν η μέτρηση των αποστάσεων και γενικότερα των διαστάσεων των μελών του ηλιακού συστήματος. Τελικά ο υπολογισμός των αποστάσεων των πλανητών από τον Ήλιο έγινε δυνατός, όταν διατυπώθηκε από τον Κοπέρνικο (1473-1543 μ.Χ.) η θεωρία του για τις τροχιές των πλανητών. Σύμφωνα με αυτήν, ο Ήλιος κατέχει το κέντρο του ηλιακού συστήματος και οι πλανήτες κινούνται γύρω απ' αυτόν σε κυκλικές τροχιές. Έτσι άρχισε ο υπολογισμός των ακτίνων των τροχιών των πλανητών.

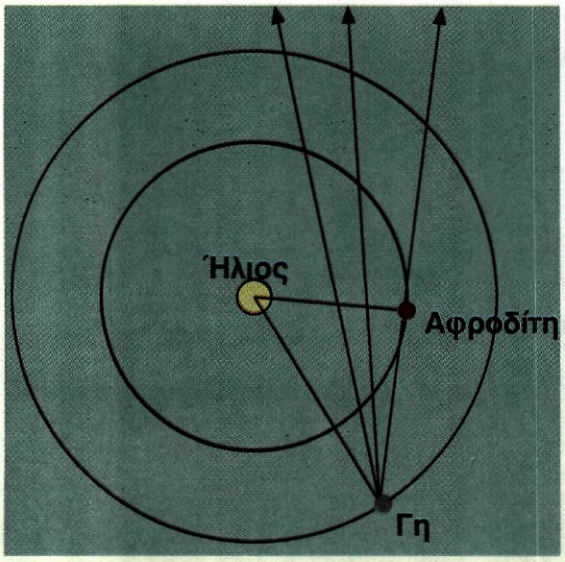
Ο ίδιος ο Κοπέρνικος υπολόγισε το λόγο της ακτίνας της τροχιάς της Γης προς την ακτίνα της τροχιάς της Αφροδίτης, βασιζόμενος στην παρατήρηση ότι η τροχιά της Αφροδίτης βρίσκεται σχεδόν στο ίδιο επίπεδο με την τροχιά της Γης και, όταν την παρατηρούμε από τη Γη, φαίνεται απλώς να κινείται μπρος - πίσω σε σχέση με τον Ήλιο. Η Αφροδίτη εμφανίζεται στην ανατολή πριν από τον Ήλιο με μέγιστη αποχή 46° ή στη δύση μετά από αυτόν, επίσης με μέγιστη αποχή 46°. Χρησιμοποιώντας την Τριγωνομετρία υπολόγισε ότι:

$$ημ46^o = \frac{R_A}{R_Γ} = 0,72$$

όπου R_A ,$R_Γ$ οι ακτίνες τροχιάς της Αφροδίτης και της

Γης, αντίστοιχα.

Έτσι, υπολόγισε ότι η ακτίνα της τροχιάς της Αφροδίτης πρέπει να είναι το 72% της ακτίνας της τροχιάς της Γης. Γνωρίζοντας το μήκος της ακτίνας της τροχιάς της



Η γωνία Γη - Ήλιος - Αφροδίτη ονομάζεται αποχή της Αφροδίτης

Γης, όπως την είχαν εκτιμήσει οι αρχαίοι Έλληνες (Ο Αρίσταρχος ο Σάμιος είχε υπολογίσει την απόσταση Γης-Ηλίου κατά 20 φορές μικρότερη από την πραγματική), υπολόγισε το μήκος της ακτίνας της τροχιάς της Αφροδίτης. Ανάλογα υπολόγισε και τις ακτίνες των τροχιών των άλλων πλανητών. Βασιζόμενος στους υπολογισμούς του και στην παραδοχή ότι οι τροχιές των πλανητών είναι κυκλικές, προσπάθησε να προβλέψει τη θέση τους στις επόμενες χρονικές στιγμές. Αυτό όμως δεν έγινε δυνατό και έτσι αποφάσισε να τροποποιήσει το μοντέλο του, ώστε να πετύχει μια καλύτερη συμφωνία μεταξύ των παρατηρήσεων και των υπολογισμών του. Δεν τα κατάφερε και αυτή η ασυμφωνία έκανε πολλούς να αμφισβητήσουν τη θεωρία του.

Αντίθετα με τον Κοπέρνικο, ο Τύχο Μπραχέ άρχισε να παρατηρεί (χωρίς τηλεσκόπιο) συστηματικά τις θέσεις όλων των πλανητών (τότε ήταν μόνο πέντε γνωστοί) και να τηρεί ένα αρχείο των παρατηρήσεών του, με σκοπό να προσδιορίσει το μοντέλο του ηλιακού συστήματος. Κατέγραψε τις θέσεις τους για είκοσι και πλέον χρόνια και με ακρίβεια μεγαλύτερη του 1/60 της μοίρας. Έτσι, οποιαδήποτε θεωρία για το ηλιακό σύστημα, για να γίνει αποδεκτή, έπρεπε να συμφωνεί με αυτές τις παρατηρήσεις. Αυτές οι παρατηρήσεις αποτέλεσαν τη βάση των ερευνών του Κέπλερ, που ήταν μαθητής και συνεργάτης του Μπραχέ.

Ο Κέπλερ μελετώντας τα στοιχεία της τροχιάς του Άρη προσπάθησε να τα επαληθεύσει, υποθέτοντας ότι η τροχιά του είναι κυκλική με κέντρο διαφορετικό από αυτό του Ηλίου. Διαπιστώνοντας ότι δεν υπήρχε συμφωνία, σχεδίασε σημείο προς σημείο τις θέσεις του Άρη και διαπίστωσε το «ωοειδές» σχήμα της τροχιάς του. Πέρασαν αρκετά χρόνια για να καταλάβει ότι αυτό το σχήμα ήταν έλλειψη, με τον Ήλιο στη μία εστία της. Δοκιμάζοντας αυτήν την ιδέα και στους άλλους πλανήτες, κατέληξε στον ***πρώτο νόμο.*** Χρησιμοποιώντας το σχέδιο της τροχιάς του Άρη και τα σημεία που αντιστοιχούσαν σε ίσα χρονικά διαστήματα, διαπίστωσε ότι ο πλανήτης δεν κινείται πάντοτε με την ίδια ταχύτητα. Αναζητώντας μια σταθερή σχέση σε αυτή την ακανόνιστη κίνηση, κατέληξε στη διατύπωση του ***δεύτερου νόμου.*** Παρατηρώντας προσεκτικά τα στοιχεία των παρατηρήσεων του Μπραχέ είχε να λύσει ένα ακόμα μυστήριο, τη σχέση ανάμεσα στο χρόνο της περιφοράς του πλανήτη γύρω από τον Ήλιο και στην ακτίνα της τροχιάς του. Κατασκευάζοντας έναν πίνακα με τις ακτίνες των τροχιών των πλανητών και τον χρόνο περιφοράς τους, κατέληξε στη διατύπωση του ***τρίτου νόμου.***

Ο Γαλιλαίος (1564 - 1642) έχοντας στα χέρια του, για πρώτη φορά στην ιστορία της επιστήμης, ένα μικρό τηλεσκόπιο, που έδειχνε τα αντικείμενα μόλις τρεις φορές μεγαλύτερα, το έστρεψε στον ουρανό. Βλέπει για πρώτη φορά τους πλανήτες σαν φωτεινούς δίσκους. Τα αστέρια παραμένουν φωτεινά σημεία, αλλά είναι πολύ περισσότερα και πιο μακριά το ένα από το άλλο. Παρατηρεί ανωμαλίες στην επιφάνεια της Σελήνης και κηλίδες στην, κατά τα άλλα, τέλεια επιφάνεια του Ηλίου. Παρατηρεί τις φάσεις της Αφροδίτης και διαπιστώνει ότι αυτές ταιριάζουν καλύτερα στο μοντέλο του Κοπέρνικου, παρά σε αυτό του Πτολεμαίου, αρκεί να θεωρηθεί ότι η τροχιά της βρίσκεται στο εσωτερικό της τροχιάς της Γης. Η ανακάλυψη των τεσσάρων δορυφόρων του Δία τον ενθουσιάζει και γράφει σχετικά μ' αυτό στον Κέπλερ: *«Μπορώ να αποδείξω ότι είναι ευκολότερο να εξηγήσεις τη φαινόμενη κίνηση του Ηλίου, της Σελήνης και των πλανητών με την Κοπερνίκεια υπόθεση, απ' ότι με τη θεωρία του Πτολεμαίου. Οι δορυφόροι του Δία, ο δακτύλιος του Κρόνου, το δρεπάνι της Αφροδίτης και πολλά άλλα φαινόμενα που ανακάλυψα ενισχύουν τη θεωρία του Κοπέρνικου»* (Alfred Renyi, διάλογοι για τα Μαθηματικά). Τα βιβλία του «Διάλογοι για τα δύο παγκόσμια συστήματα» (1661) και «Ομιλίες που αφορούν δυο νέες επιστήμες» (1662-1665) ανοίγουν το δρόμο στο Νεύτωνα να διατυπώσει τη θεωρία του για τις κινήσεις των σωμάτων και την παγκόσμια έλξη.

«Γιατί τα μήλα πέφτουν στο έδαφος;» «Γιατί η Σελήνη δεν πέφτει στη Γη;» «Γιατί κινούνται τα αντικείμενα;» Στα ερωτήματα αυτά προσπάθησαν πολλοί ερευνητές να δώσουν απάντηση. Ο Λεονάρντο ντα Βίντσι (1452-1519), ο Κοπέρνικος, ο Τύχο Μπραχέ, ο Κέπλερ, ο Γαλιλαίος, ο Καρτέσιος (1596-1650) είναι μερικοί από αυτούς. Όλοι συνεισέφεραν, άλλοι με τις παρατηρήσεις τους, άλλοι με τις εκτιμήσεις τους και τις υποθέσεις τους. Την οριστική και πλήρη απάντηση, το τέλος αυτής της περιπέτειας και την αρχή μίας νέας εποχής έδωσε ο Νεύτωνας με το βιβλίο του *«Οι Μαθηματικές Αρχές της Φυσικής Φιλοσοφίας»*, που δημοσίευσε το 1687. Εκεί διατυπώνει τους τρεις νόμους του για τις κινήσεις καθώς και το νόμο της παγκόσμιας έλξης.

ΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΟΥ ΝΕΥΤΩΝΑ

1ος νόμος:

Κάθε σώμα, στο οποίο δεν ασκείται καμία δύναμη ή η συνισταμένη όλων των δυνάμεων είναι μηδέν, παραμένει ακίνητο ή κινείται με σταθερή ταχύτητα.

2ος νόμος:

Κάθε σώμα στο οποίο ασκείται μία εξωτερική δύναμη **F** αποκτά επιτάχυνση **α**, σύμφωνα με τη σχέση:

$$F = m \cdot \alpha$$

3ος νόμος:

Όταν δύο σώματα αλληλεπιδρούν χωρίς στο σύστημά τους να ασκούνται εξωτερικές δυνάμεις, η δύναμη που ασκείται από το πρώτο στο δεύτερο είναι αντίθετη προς τη δύναμη που ασκείται από το δεύτερο στο πρώτο.

Ο νόμος της παγκόσμιας έλξης:

Κάθε σώμα έλκει κάθε άλλο με μια δύναμη που έχει τη διεύθυνση της ευθείας που διέρχεται από τα κέντρα των δύο σωμάτων, είναι ανάλογη προς το γινόμενο των μαζών τους και αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της απόστασής τους.

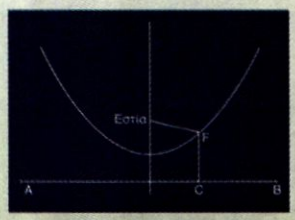
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

όπου **G** η παγκόσμια σταθερά της βαρύτητας: $G = 6{,}67 \cdot 10^{-8}\ cm^3\ g^{-1} s^{-2}$.

ΟΙ ΚΩΝΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ

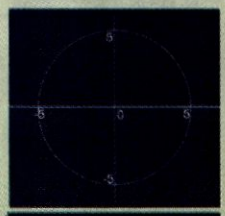
Η έλλειψη που, όπως είδαμε, είναι η τροχιά της κίνησης κάθε πλανήτη γύρω από τον Ήλιο, είναι μια από τις τέσσερις κωνικές τομές. Οι άλλες είναι ο κύκλος, η παραβολή και η υπερβολή. Ονομάζονται κωνικές τομές, διότι προκύπτουν ως τομές ενός κώνου, όταν αυτός τμηθεί κατάλληλα από επίπεδο. Αυτό ακριβώς δείχνει το διπλανό σχήμα. Τα γεωμετρικά σχήματα της παραβολής, της έλλειψης και της υπερβολής καθώς και οι αναλυτικές εξισώσεις τους είναι τα εξής:

Όσον αφορά την έλλειψη που είναι η τροχιά των πλανητών, ισχύουν τα εξής:



Παραβολή

$$\psi = \alpha\chi^2 + \beta$$

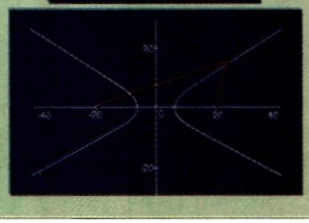


Κύκλος

$$\chi^2 + \psi^2 = \rho^2$$

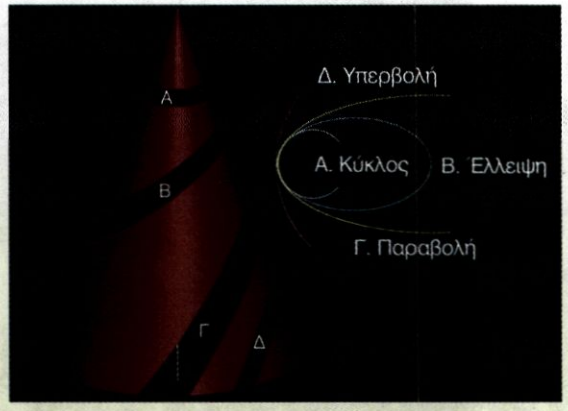
Έλλειψη

$$\frac{\chi^2}{\alpha^2} + \frac{\psi^2}{\beta^2} = 1$$



Υπερβολή

$$\frac{\chi^2}{\alpha^2} - \frac{\psi^2}{\beta^2} = 1$$

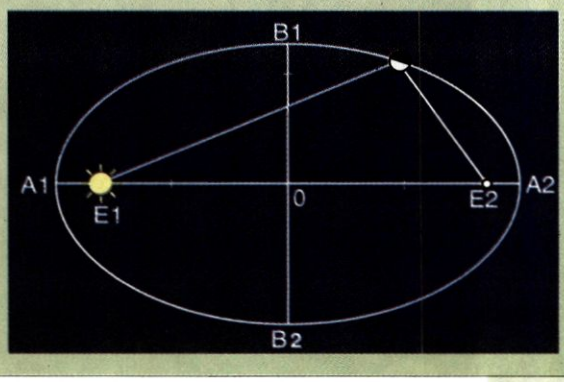


Η απόσταση $A_1A_2 = 2\alpha$ ονομάζεται μεγάλος άξονας και η απόσταση $B_1B_2 = 2\beta$ μικρός άξονας. Η απόσταση $E_1E_2 = 2\gamma$ των δυο εστιών ονομάζεται εστιακή απόσταση. Επίσης ένα χαρακτηριστικό μέγεθος της έλλειψης είναι η εκκεντρότητα,

$$\varepsilon = \frac{\gamma}{\alpha}$$

που δηλώνει πόσο αυτή προσεγγίζει τον κύκλο.

Στην περίπτωση που η μια εστία της έλλειψης είναι ο Ήλιος, το πλησιέστερο σημείο προς αυτόν, το A_1, ονομάζεται **περιήλιο** και το πιο απομακρυσμένο, το A_2, ονομάζεται **αφήλιο**. Η απόσταση του περιηλίου είναι: $A_1E_1 = \alpha - \gamma = \alpha - \alpha\varepsilon = \alpha(1-\varepsilon)$, ενώ του αφηλίου $A_2E_1 = \alpha(1+\varepsilon)$.



3.4 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΗ - ΣΕΛΗΝΗ

Το σύστημα Γη - Σελήνη ήταν ανέκαθεν το κεντρικό σημείο στη μελέτη των φαινομένων του διαστήματος. Ως ένα δυναμικό σύστημα, που κινείται γύρω από τον Ήλιο κάτω από την επίδραση δυνάμεων της βαρύτητας, παρουσίαζε και εξακολουθεί να παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Φαινόμενα, όπως οι φάσεις της Σελήνης, οι εκλείψεις, οι παλίρροιες κ.ά., οφείλονται σ' αυτό ακριβώς το σύστημα. Η μελέτη του θα μας επιτρέψει να κατανοήσουμε καλύτερα τα φαινόμενα του ουρανού.

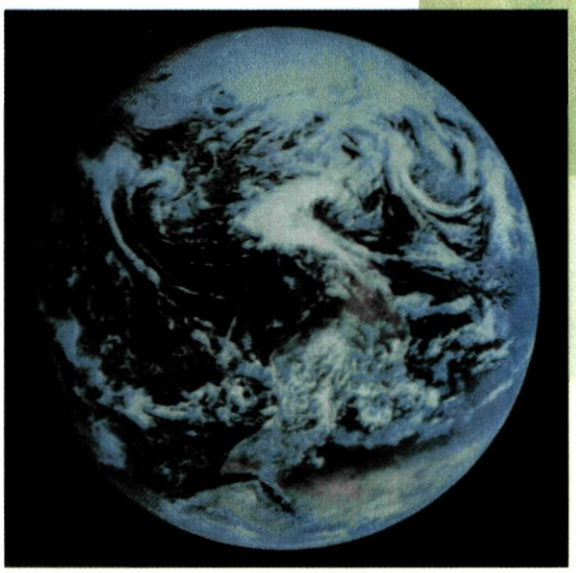
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ

Πολλοί επιστημονικοί κλάδοι, όπως η Γεωλογία, η Μετεωρολογία, η Σεισμολογία, η Ωκεανογραφία, ασχολούνται ο καθένας και με ένα ιδιαίτερο αντικείμενο που αφορά τη Γη και τη ζωή πάνω σε αυτή.

Εικόνα 3.13: Η Γη και η Σελήνη, όπως φωτογραφήθηκαν από το διαστημόπλοιο Γαλιλαίος στις 16-12-1990 από απόσταση 2,6 εκατομμύρια χιλιόμετρα.

Για την Αστρονομία το ενδιαφέρον εστιάζεται στα καθαρά φυσικά χαρακτηριστικά της Γης, όπως στο μέγεθός της, στο σχήμα της, στη δομή της, στην ατμόσφαιρά της, στις κινήσεις της και σε όσα άλλα στοιχεία χαρακτηρίζουν έναν πλανήτη. Η γνώση τους θα βοηθήσει, εκτός των άλλων, να μελετήσουμε καλύτερα και τους υπόλοιπους πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος.

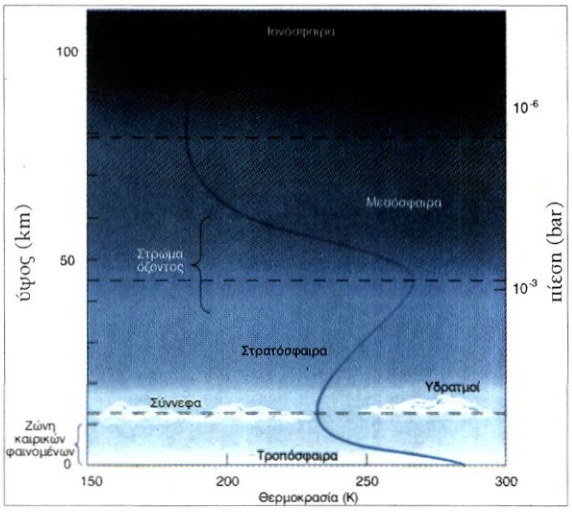
Το όνομα Γη προέρχεται από το αρχαϊκό Γέα (Γαία) και έλκει την καταγωγή του από τους μύθους των αρχαίων Ελλήνων για την καταγωγή του κόσμου. Λέγει ο Ησίοδος στη «Θεογονία»: «Πριν από κάθε άλλο ήταν το Χάος. Ύστερα δε από αυτό η Γαία η ευρύστερνος, αιώνιον και ακλόνητον στήριγμα παντός πράγματος, και ο Έρως, ο πλέον ωραίος από τους αθάνατους, που ευφραίνει με την γλυκύτητά του και τους θεούς και τους ανθρώπους».



Εικόνα 3.14: Η Γη είναι πεπλατυσμένη στους πόλους και εξογκωμένη στον ισημερινό. Για την ακρίβεια, η διάμετρός της στον ισημερινό είναι περίπου 12.756 Km, ενώ στους πόλους περίπου 12.714 Km.

Η Γη είναι ο τρίτος στη σειρά πλανήτης του ηλιακού μας συστήματος και ο πέμπτος σε μέγεθος. Η **μέση απόστασή** της από τον Ήλιο είναι 149.600.000 Km.

Η Γη κινείται, αφού συμμετέχει στην κίνηση του ηλιακού μας σύστηματος προς τον αστερισμό του Ηρακλή, καθώς και στην κίνηση του Γαλαξία μας προς τον αστερισμό του Λέοντος. Επίσης **περιφέρεται** γύρω από τον Ήλιο σε ελλειπτική τροχιά και συμπληρώνει μια πλήρη περιφορά σε 365,256



Σχήμα. 3.15: Διάγραμμα της ατμόσφαιρας της Γης. Η μπλε γραμμή δείχνει τη μεταβολή της θερμοκρασίας σε σχέση με το ύψος. Επίσης φαίνεται και η μεταβολή της πίεσης της ατμόσφαιρας σε σχέση με το ύψος.

Η περιοχή της ατμόσφαιρας από την επιφάνεια της Γης και μέχρι 15 Km ύψος ονομάζεται τροπόσφαιρα. Στην περιοχή αυτή πραγματοποιούνται όλα τα μετεωρολογικά φαινόμενα. Δημιουργούνται ανοδικά ρεύματα μεταφοράς θερμού αέρα από την επιφάνεια και καθοδικά ρεύματα ψυχρού αέρα.

Η επόμενη ζώνη είναι η στρατόσφαιρα, που εκτείνεται μέχρι 40 έως 50 Km.

Η ζώνη μεταξύ 50 και 80 Km είναι η μεσόσφαιρα.

Η περιοχή μετά τα 80 Km ονομάζεται ιονόσφαιρα.

Στο τμήμα της ατμόσφαιρας μεταξύ στρατόσφαιρας και μεσόσφαιρας οι συνθήκες είναι κατάλληλες για το σχηματισμό όζοντος (O_3). Αυτή η περιοχή ονομάζεται οζονόσφαιρα και η ύπαρξή της θεωρείται σημαντική για τη ζωή στον πλανήτη μας. Είναι η προστασία της Γης, γιατί δεν επιτρέπει να εισέλθουν στην ατμόσφαιρά της οι θανατηφόρες για τον άνθρωπο και τα ζώα υπεριώδεις ακτινοβολίες που προέρχονται από τον Ήλιο. Η καταστροφή του όζοντος ισοδυναμεί με καταστροφή της ζωής στον πλανήτη μας. Ο κίνδυνος της καταστροφής του δεν προέρχεται από το διάστημα. Δυστυχώς η ανεξέλεγκτη χρήση χημικών ουσιών από τον άνθρωπο έχει δημιουργήσει τον υπαρκτό πλέον εφιάλτη της «τρύπας του όζοντος». Η προστασία της ζώνης του όζοντος πρέπει να αποτελέσει την πρώτη προτεραιότητα στις μελλοντικές εξελίξεις στον πλανήτη μας. Είναι καθήκον κάθε κατοίκου της Γης να ευαισθητοποιηθεί προς αυτήν την κατεύθυνση.

Η ατμόσφαιρα της Γης μπορεί να θεωρηθεί ότι επεκτείνεται και πέρα από την ιονόσφαιρα. Υπάρχουν δύο ζώνες ακτινοβολίας, γνωστές ως ζώνες Van Allen. Περιβάλλουν τη Γη και περιέχουν φορτισμένα ηλεκτρικά σωμάτια, τα οποία έχουν παγιδευτεί από το μαγνητικό πεδίο της. Τα σωμάτια αυτά είτε δημιουργούνται από το βομβαρδισμό της περιοχής με υψηλής ενέργειας ακτινοβολία είτε προέρχονται από τον Ήλιο και φτάνουν στη Γη υπό μορφή ηλιακού ανέμου.

ημέρες (ένα έτος). Τέλος **περιστρέφεται** γύρω από τον άξονά της και συμπληρώνει μια περιστροφή σε 23,93 ώρες.

Το **σχήμα** της Γης δεν είναι σφαιρικό. Εξαιτίας της περιστροφής γύρω από τον άξονά της, έχει σχήμα πεπλατυσμένο στους πόλους και εξογκωμένο στον ισημερινό. Το σχήμα αυτό ονομάζεται γεωειδές εκ περιστροφής (εικ. 3.14).

Η ακτίνα της στον Ισημερινό είναι 6.378 Km.

Η **μάζα** της Γης είναι $5,97 \times 10^{24}$ Kg και η **πυκνότητά** της περίπου 5.520 Kg/m^3.

Η **ατμόσφαιρα** της Γης αποτελείται κυρίως από άζωτο και οξυγόνο, σε αναλογία 78% άζωτο και 21% οξυγόνο. Το υπόλοιπο 1% αποτελείται από διάφορα άλλα αέρια. Η ατμόσφαιρα χωρίζεται σε ζώνες που έχουν διαφορετικές ιδιότητες μεταξύ τους (σχ. 3.15).

Κινούμενοι από το έδαφος πρός τα επάνω συναντά-

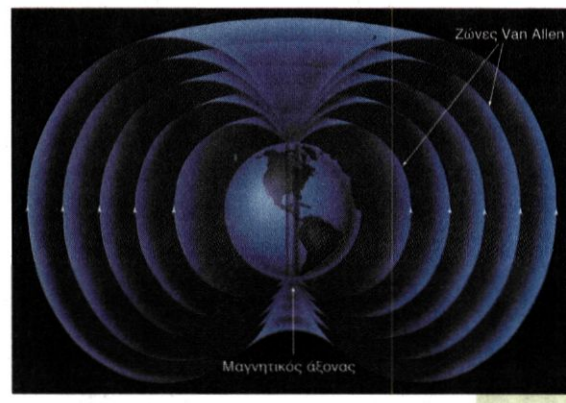
Εικόνα 3.16: Το πολικό σέλας εμφανίζεται κοντά στους πόλους της Γης. Ρεύματα με φορτισμένα σωμάτια φτάνουν από τον Ήλιο και συγκεντρώνονται στους πόλους, εξαιτίας του μαγνητικού πεδίου της. Εκεί βομβαρδίζουν και διεγείρουν τα άτομα της ατμόσφαιρας, που με τη σειρά τους παράγουν φως.

με διαδοχικά τις ακόλουθες ζώνες:

α) τροπόσφαιρα, β) στρατόσφαιρα, γ) μεσόσφαιρα και δ) ιονόσφαιρα.

Τα φαινόμενα που παρατηρούνται σε κάθε ζώνη εξαρτώνται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της, δηλαδή τη θερμοκρασία, την πυκνότητα, την πίεση και τη χημική της σύσταση (σχ. 3.15).

Η Γη έχει **μαγνητικό πεδίο.** Το πεδίο αυτό (σχ. 3:17) είναι όμοιο με αυτό που δημιουργεί ένας ευθύγραμμος μαγνήτης, του οποίου ο βόρειος πόλος βρίσκεται σε πλάτος +70° (βόρεια) και σε μήκος 73° δυτικά. Οι μαγνητικές γραμμές ξεκινούν από το νότιο μαγνητικό πόλο και καταλήγουν στο βόρειο μαγνητικό πόλο. Το μαγνητικό πεδίο της Γης είναι υπεύθυνο για μια σειρά φαινομένων, που παρατηρούνται κυρίως στους πόλους της, όπως το πολικό σέλας (εικ. 3.16).

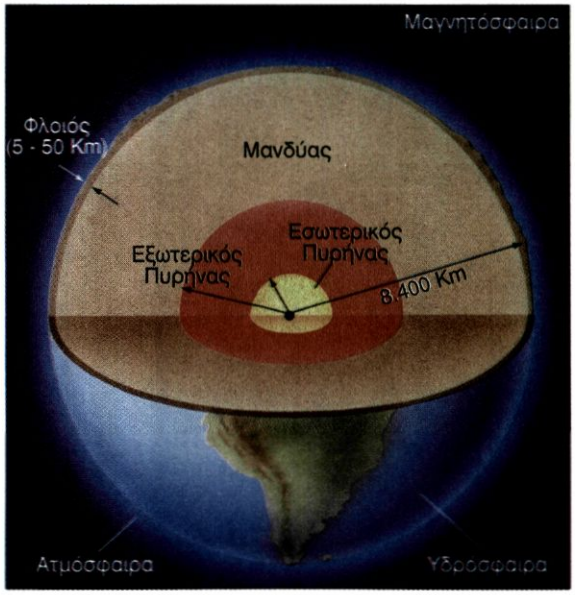


Σχήμα 3.17: Μαγνητικό πεδίο της Γης και ζώνες Van Allen. Στις 31 Ιανουαρίου 1958 ο αμερικανικός δορυφόρος Explorer 1 ανακάλυψε μια ζώνη που περιέχει φορτισμένα σωμάτια. Αργότερα ο καθηγητής Van Allen ανακάλυψε δύο τέτοιες ζώνες.

Η Γη	
Ακτίνα	6.378 Km
Μάζα	5,97 x 10^{24} Kg
Πυκνότητα	5.520 Kg/m^3
Ταχύτητα διαφυγής	11,2 Km/h
Επιτάχυνση της βαρύτητας	9,81 m/s^2
Περιστροφή γύρω από τον άξονα	1600 Km/h (σημείο του ισημερινού της)
Περιφορά γύρω από τον Ήλιο	106.000 Km/h
Κίνηση μαζί με το ηλιακό σύστημα προς τον αστερισμό του Ηρακλή	72.360 Km/h
Κίνηση μαζί με το Γαλαξία μας προς τον αστερισμό του Λέοντος	2.160.000 Km/h

Η μέση **θερμοκρασία** στην επιφάνεια της Γης είναι περίπου 15 C. Η θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα, όσο αυξάνει το ύψος της, πέφτει και αυτό γίνεται μέχρι τη στρατόσφαιρα. Στη μεσόσφαιρα παρουσιάζει στην αρχή αύξηση, αλλά μετά ξαναπέφτει, για να αρχίσει να ανεβαίνει μετά τη μεσόσφαιρα και να φτάσει μέχρι και 2.500 C.

Τα **χημικά στοιχεία** από τα οποία αποτελείται η Γη είναι πολλά. Τα σημαντικότερα είναι ο σίδηρος σε ποσοστό 40%, το οξυγόνο σε ποσοστό 28%, το πυρίτιο σε ποσοστό 14,5% και το μαγνήσιο σε ποσοστό 8,7%.



Σχήμα 3.18: Η δομή της Γης. Στον πυρήνα επικρατούν πιέσεις της τάξης των 1.400.000 ατμοσφαιρών και θερμοκρασίες 4.000 C - 5.000 C.

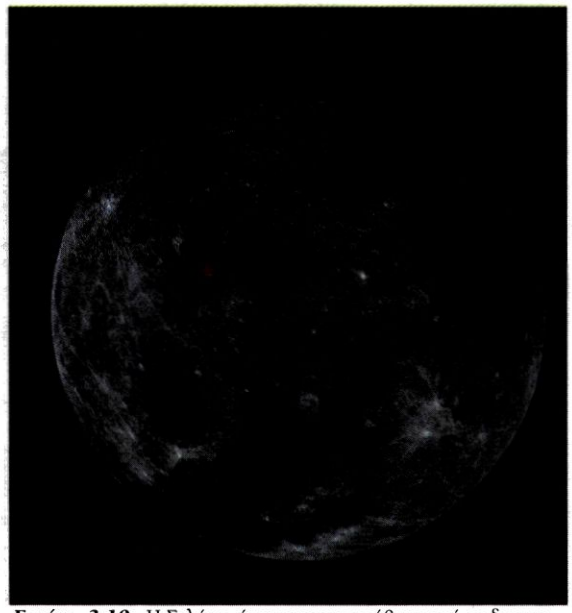
Η **δομή του εσωτερικού** της Γης παρουσιάζει την εξής εικόνα. Αποτελείται από τρία σαφώς διακεκριμένα μέρη, το φλοιό, το μανδύα και τον πυρήνα. Ο πυρήνας βρίσκεται σε ρευστή κατάσταση και χωρίζεται σε δύο μέρη, στον εξωτερικό και στον εσωτερικό (σχ. 3.18).

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΣΕΛΗΝΗΣ

Η Σελήνη είναι ο μοναδικός φυσικός δορυφόρος της Γης. Ανέκαθεν αντιπροσώπευε το άπιαστο όνειρο, πρόκληση για ένα ταξίδι σε αυτή. Από τον Ιούλιο Βερν, που πρώτος είχε την ιδέα να την «επισκεφτεί» με το μυθιστόρημά του «Από τη Γη στη Σελήνη», μέχρι τη NASA, που τον Ιούλιο του 1969 με το πρόγραμμα Απόλλων πέτυχε να κάνει αυτό το ταξίδι πραγματικότητα, η πρόκληση αυτή έθρεψε τη φαντασία πολλών κατοίκων της Γης. Η επανδρωμένη αποστολή στη Σελήνη με το πρόγραμμα Απόλλων έδωσε οριστική απάντηση στις διάφορες αιτιάσεις για τα χαρακτηριστικά της.

- Οι **βασικές κινήσεις** της Σελήνης είναι δύο. Κινείται γύρω από τη Γη σε ελλειπτική τροχιά και συμπληρώνει μια περιφορά γύρω απ' αυτήν σε 27,3217 ημέρες. Επίσης περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της και συμπληρώνει μια περιστροφή σε 27,3217 ημέρες. Ο χρόνος αυτός ονομάζεται **αστρικός μήνας.** Το αποτέλεσμα των δύο αυτών κινήσεων είναι η Σελήνη να δείχνει σε μας πάντοτε την ίδια πλευρά. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **σύγχρονη περιστροφή** της Σελήνης και οφείλεται στην εξίσωση των χρόνων της περιφοράς της γύρω από τη Γη και της περιστροφής γύρω

Η Σελήνη κατέχει σημαντική θέση στους μύθους και στις παραδόσεις της αρχαίας Ελλάδας. Το πρώτο συνθετικό του ονόματός της δείχνει το λαμπρό φως (σέλας) και το δεύτερο τις περιοδικές φάσεις της (μην). Ο Όμηρος την ονομάζει «κόρη του βασιλέως Πάλλαντος, υιού του Μεγαμήδους». Οι πολλές μεταμορφώσεις της, από ωχρό δρεπάνι σε ολόφωτη πανσέληνο, και οι ποικίλες σχέσεις της με τη Γη και τον Ήλιο έδωσε στους αρχαίους λαούς υλικό για μύθους και περιπέτειες. Προς τιμή της οι αρχαίοι Έλληνες ονόμαζαν τη Δευτέρα ημέρα της Σελήνης, οι Λατίνοι Dies Lunae, οι Γάλλοι Lundi και οι Άγγλοι Monday.



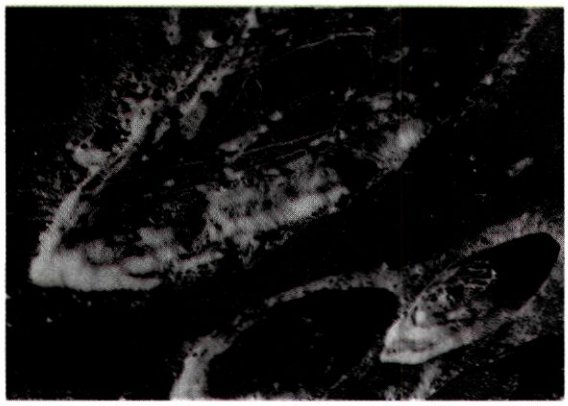
Εικόνα. 3.19: Η Σελήνη, όπως φωτογραφήθηκε από το διαστημόπλοιο Απόλλων 16.

από τον άξονά της. Η αόρατη πλευρά της Σελήνης φωτογραφήθηκε για πρώτη φορά το 1959 από το Σοβιετικό δορυφόρο Lunik 3.

Η έλλειψη ατμόσφαιρας επέτρεψε στους αστρονόμους να κάνουν «καθαρές» παρατηρήσεις και να προσδιορίσουν έτσι τη **μορφολογία του εδάφους** της με αρκετή ακρίβεια (εικ. 3.19). Με γυμνό μάτι και όταν έχουμε πανσέληνο, παρατηρούμε στο δίσκο της Σελήνης φωτεινές και λιγότερο φωτεινές περιοχές.

Οι τελευταίες ονομάστηκαν από το Γαλιλαίο, που πρώτος παρατήρησε τη Σελήνη με τηλεσκόπιο το 1610, «θάλασσες». Όπως αποδείχτηκε, οι «θάλασσες» είναι επίπεδες περιοχές, όπως οι γήινες πεδιάδες. Ο ίδιος αλλά και άλλοι μετέπειτα παρατηρητές έδωσαν ονόματα στις «θάλασσες» και στις κατά αντιδιαστολή «ηπείρους». Ακόμα στην επιφάνειά της μπορεί κανείς να παρατηρήσει όρη και κρατήρες. Το έδαφος καλύπτεται από σκόνη, που εικάζεται ότι έχει δημιουργηθεί με τον ίδιο τρόπο που δημιουργήθηκαν και οι κρατήρες, δηλαδή από την πρόσκρουση μετεωριτών στο εδαφός της. Πρόσφατα διαπιστώθηκε ότι στο υπέδαφος της Σελήνης υπάρχει αρκετό νερό σε μορφή κρυστάλλων ενωμένο με άλλα στοιχεία.

Η Σελήνη	
Διάμετρος	3.476 Km
Μάζα (γήινες μονάδες)	1/81
Μέση πυκνότητα	3,34 gr/cm^3
Ταχύτητα διαφυγής	2,38 Km/s
Επιτάχυνση της βαρύτητας	1,63 m/s^2
Μέση θερμοκρασία ημέρας	107 C
Μέση θερμοκρασία νύχτας	-153 C
Μέση ταχύτητα περιφοράς γύρω από τη Γη	1,03 Km/h
Μέση απόσταση από τη Γη	384.400 Km
Χρόνοι περιφοράς γύρω από τη Γη (ημέρες)	29,530589



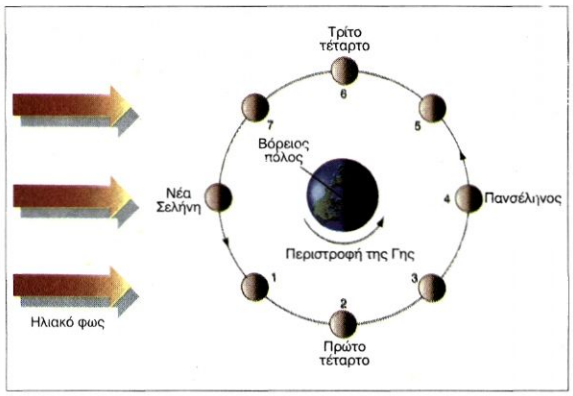
Εικόνα 3.20: Κρατήρες στη Σελήνη, όπως φάνηκαν από το διαστημόπλοιο Απόλλων 8.

Εικόνα. 3.21: Το πρώτο ανθρώπινο ίχνος στην επιφάνεια της Σελήνης.

Η **δομή της Σελήνης** μοιάζει με αυτή της Γης, αν εξαιρέσει κανείς την έλλειψη ατμόσφαιρας.

Ο **πυρήνας** της έχει ακτίνα περίπου 200 Km και ο **μανδύας** περίπου 1.600 Km. Ο **φλοιός** της παρουσιάζει την εξής ιδιομορφία: Το πάχος του στην πλευρά που είναι στραμμένη προς τη Γη είναι 60 Km, ενώ στην αντίθετη πλευρά είναι 150 Km.

Η **επιφάνεια της Σελήνης** αποτελείται από πολύ μικρά σωματίδια, που αποτελούν τη σεληνιακή σκόνη (εικ. 3.21), και από πετρώματα, τα οποία μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: το σκουρόχρωμο



Σχήμα 3.22: Οι φάσεις της Σελήνης. Ανάλογα με τη σχετική θέση της Σελήνης, του Ηλίου και τη θέση του παρατηρητή στη Γη, αυτός βλέπει πανσέληνο, πρώτο τέταρτο, τελευταίο τέταρτο ή νέα Σελήνη.

βασάλτη όμοιο με τον αντίστοιχο γήινο, το προερχόμενο από λάβα ορυκτό **ανορθωσίτη** (αλουμίνιο-ασβέστιο) και σκληρά συμπαγή πετρώματα συνακατεμένα με ορυκτά.

ΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΕΛΗΝΗΣ

Η Σελήνη, όπως και όλα τα άλλα μέλη του ηλιακού συστήματος, είναι ετερόφωτο σώμα και το φως που εκπέμπει είναι του Ηλίου, που ανακλάται στην επιφάνειά της. Όμως στη διάρκεια της περιφοράς της γύρω από τη Γη παρουσιάζεται στο γήινο παρατηρητή σε διάφορες φάσεις (σχ. 3.22). Άλλοτε φαίνεται ολόκληρος ο δίσκος της (πανσέληνος), άλλοτε ένα μέρος του (τέταρτο) και άλλοτε χάνεται τελείως (νέα Σελήνη). Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη σχετική θέση που έχουν κάθε φορά ο Ήλιος, η Σελήνη και η Γη. Η Σελήνη, για να περάσει από όλες τις φάσεις της, χρειάζεται ένα **συνοδικό μήνα**, δηλαδή 29,53 ημέρες.

ΟΙ ΕΚΛΕΙΨΕΙΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΕΛΗΝΗΣ

Ένα άλλο φαινόμενο που οφείλεται στις σχετικές θέσεις του Ηλίου, της Γης και της Σελήνης είναι οι εκλείψεις. Το φαινόμενο αυτό είναι σχετικά σπάνιο,

Εικόνα. 3.23: Κατά την έκλειψη της Σελήνης το μέρος της που καλύπτεται από τη σκιά της Γης δεν εξαφανίζεται, αλλά παίρνει μια θαμπή κόκκινη απόχρωση.

συμβαίνει το πολύ επτά φορές το χρόνο. Είναι εντυπωσιακό και παρέχει πολλές πληροφορίες στους αστρονόμους.

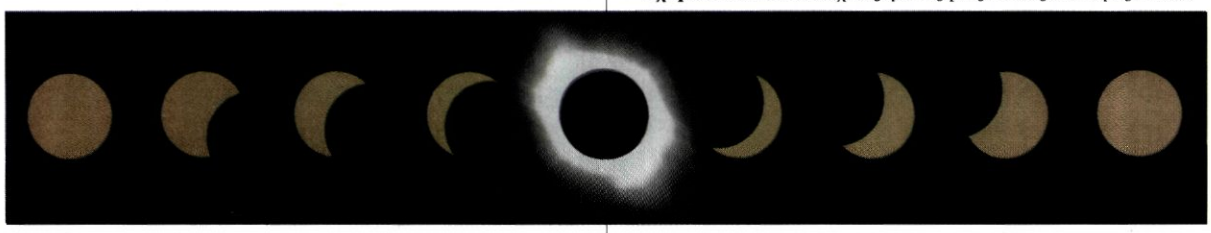
Έχουμε δυο ειδών εκλείψεις. Τις εκλείψεις της Σελήνης και τις εκλείψεις του Ηλίου.

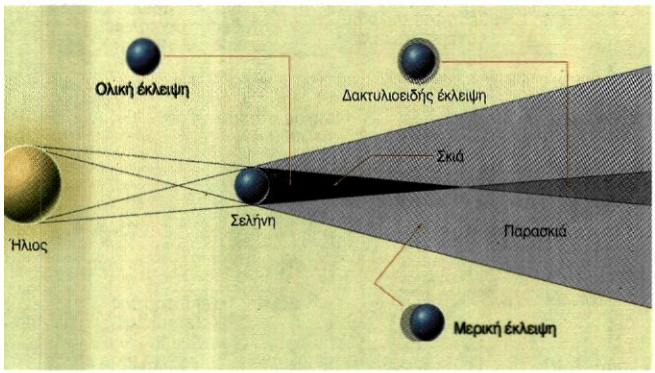
Οι εκλείψεις της Σελήνης

Καθώς ο Ήλιος φωτίζει τη Γη, δημιουργεί τη σκιά της η οποία έχει μορφή κώνου.

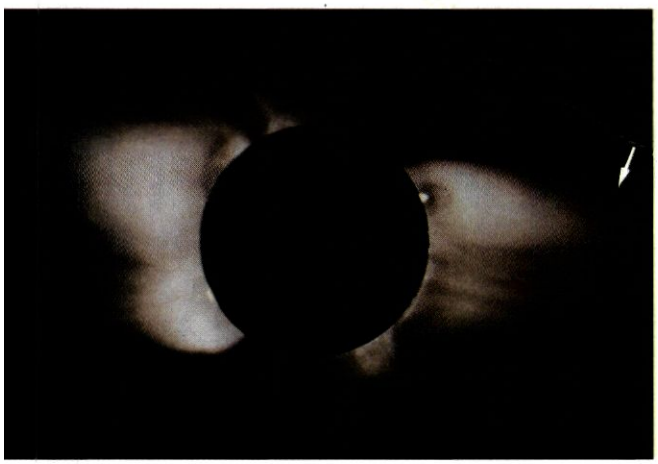
Όταν η Σελήνη, καθώς περιφέρεται γύρω από τη Γη, μπει στον κώνο της σκιάς της Γης, ένα μέρος ή και ολόκληρος ο φωτεινός της δίσκος καλύπτεται από αυτή. Τότε έχουμε έκλειψη Σελήνης. Σε περίπτωση που η Σελήνη μπει ολόκληρη στη σκιά της Γης, έχουμε ολική έκλειψη Σελήνης. Άλλοτε πάλι, όταν η ευθυγράμμιση των τριών ουράνιων σωμάτων δεν είναι πλήρης, έχουμε μερική έκλειψη Σελήνης, μια και καλύπτεται μόνο ένα μέρος του φωτεινού της δίσκου. (εικ. 3.23). Έκλειψη Σελήνης έχουμε, όταν αυτή είναι στη φάση της πανσέληνου.

Σχήμα 3.24: Οι διαδοχικές φάσεις μιας ολικής έκλειψης Ηλίου.





Σχήμα 3.25: Η γεωμετρική ερμηνεία των εκλείψεων του Ηλίου. Διακρίνεται η σκιά και η παρασκιά της Σελήνης καθώς και οι περιοχές που έχουμε ολική, μερική και δακτυλιοειδή έκλειψη Ηλίου. Το μήκος της σκιάς της Σελήνης κυμαίνεται από 367.000 έως 379.800 Km, ενώ η απόσταση Γης-Σελήνης από 357.300 έως 407.100 Km. Έτσι, μόνο μια περιοχή της Γης καλύπτεται από τον κώνο της σκιάς της Σελήνης.



Εικόνα 3.26: Ολική έκλειψη Ηλίου: Παρατηρούμε την εξώτατη ατμόσφαιρα του Ήλιου, το στέμμα του.

Οι εκλείψεις του Ηλίου

Έκλειψη Ηλίου έχουμε, όταν η Σελήνη είναι στη φάση της νέας Σελήνης και μπει ανάμεσα στον Ήλιο και στη Γη. Τότε οι περιοχές μιας ζώνης της Γης, που έχει πλάτος το πολύ 300 Km, σαρώνονται από τη σκιά και την παρασκιά της Σελήνης. Η έκλειψη θα είναι **ολική** ή **δακτυλιοειδής,** ανάλογα με το αν η περιοχή σαρώνεται από τον κώνο της σκιάς ή την προέκτασή του αντίστοιχα. Αυτό εξαρτάται από την απόσταση Γης-Σελήνης εκείνη τη στιγμή. Επίσης μπορεί σε μια περιοχή να έχουμε **μερική** έκλειψη Ηλίου, αν αυτή σαρώνεται από την παρασκιά της Σελήνης. Στο σχήμα 3.25 υπάρχει η γεωμετρική αναπαράσταση της έκλειψης του Ηλίου, που εξηγεί όλες τις περιπτώσεις.

Η ολική έκλειψη του Ηλίου συνοδεύεται από πλήρη συσκότιση της περιοχής, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται στον ουρανό ακόμα και οι αστέρες.

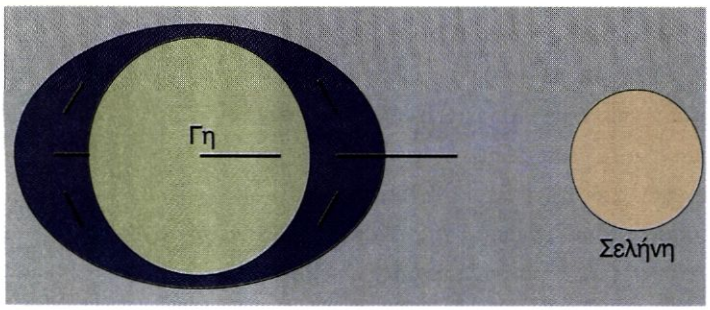
Για τους αστρονόμους οι εκλείψεις αποτελούν ένα ενδιαφέρον φαινόμενο, διότι πολλά αστρονομικά προβλήματα μπορούν να διερευνηθούν κατά τη διάρκειά τους. Για παράδειγμα, κατά την ολική έκλειψη του Ηλίου εμφανίζεται το ηλιακό στέμμα (η εξώτατη δηλαδή περιοχή της ηλιακής ατμόσφαιρας) και οι επιστήμονες έχουν την ευκαιρία να το μελετήσουν (εικ. 3.26).

ΠΑΛΙΡΡΟΪΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Ένα από τα πιο μυστηριώδη και εντυπωσιακά φαινόμενα που παρατηρούμε στη Γη είναι οι παλίρροιες, δηλαδή το φαινόμενο όπου η στάθμη των νερών στις

Πίνακας 3.27: Εκλείψεις Ηλίου και Σελήνης από το 1999 -2000

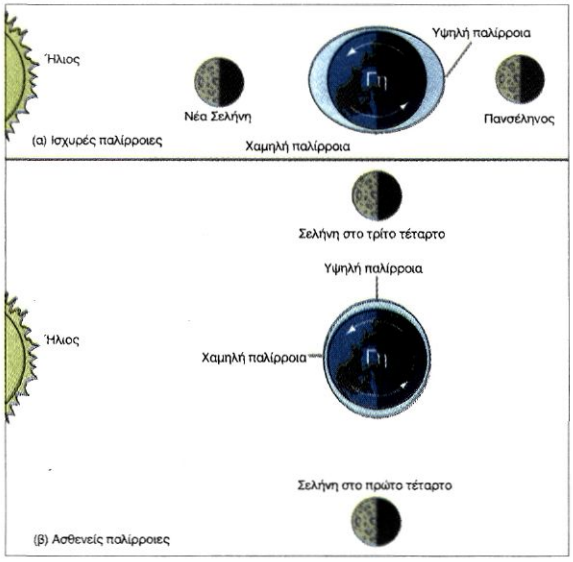
Ημερομηνία	Τύπος έκλειψης	Διάρκεια	Τόπος παρατήρησης
31-12-1999	Σεληνιακή, Παρασκιά		Ασία, Αυστραλία, Χαβάη, Αλάσκα
16-2-1999	Ηλιακή, Δακτυλιοειδής		Νότια Αφρική, Ανταρκτική, Αυστραλία
28-7-1999	Σεληνιακή, Μερική		Αυστραλία, Χαβάη, Νότιος Αμερική
11-8-1999	Ηλιακή, Ολική	2 min 23 s	Ευρώπη, Νότια Αφρική, Μέση Ανατολή
20-1-2000	Σεληνιακή, Ολική	1 h 18 min	Αμερική
5-2-2000	Ηλιακή, Μερική		Ανταρκτική
1-7-2000	Ηλιακή, Μερική		Νότιος Ειρηνικός
16-7-2000	Ολική	1 h 48 min	Ασία, Αυστραλία, Χαβάη, Αλάσκα
30-7-2000	Ηλιακή, Μερική		Σιβηρία, Αλάσκα
25-12-2000	Ηλιακή, Μερική		Νότια Αμερική



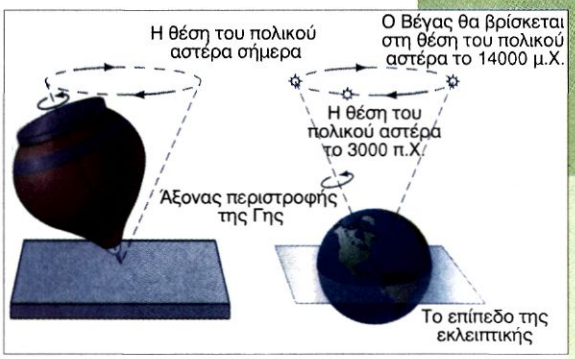
Σχήμα 3.28: Η δύναμη της βαρύτητας που ασκεί η Σελήνη στη Γη έχει αποτέλεσμα το φαινόμενο της παλίρροιας. Το πλησιέστερο προς τη Σελήνη σημείο απέχει 12.756 Km (διάμετρος της Γης) λιγότερο από το αντιδιαμετρικό σημείο. Έτσι, οι δυνάμεις που ασκεί η Σελήνη στα δύο αυτά σημεία και στο κέντρο της Γης είναι διαφορετικές. Η διαφορά αυτή είναι η αιτία που δημιουργεί το φαινόμενο της παλίρροιας. Στα αντιδιαμετρικά αυτά σημεία εμφανίζεται ανύψωση της στάθμης, ενώ στα σημεία που σχηματίζουν γωνία 90° παρατηρείται η χαμηλότερη στάθμη.

λίμνες και στις θάλασσες ανεβαίνει (πλημμυρίδα) και κατεβαίνει (άμπωτη) περιοδικά. Στους ωκεανούς η άνοδος αυτή φτάνει μέχρι και το ένα μέτρο, ενώ σε στενούς κόλπους είναι ακόμα μεγαλύτερη. Γενικά η ένταση με την οποία εκδηλώνεται το φαινόμενο είναι διαφορετική στις διάφορες περιοχές της Γης και εξαρτάται από τη διαμόρφωση των ακτών. Το φαινόμενο αυτό, γνωστό από την αρχαιότητα, ερμηνεύτηκε από το Νεύτωνα. Οφείλεται στη βαρυτική έλξη που ασκεί η Σελήνη και ο Ήλιος στους ωκεανούς της Γης. Η βασική ιδέα η οποία εξηγεί το φαινόμενο είναι η εξής (σχ. 3.28 , 3.29):

Η Σελήνη και ο Ήλιος έλκουν ισχυρότερα τους ωκεανούς που βρίσκονται πιο κοντά τους, λιγότερο



Σχήμα 3.29: Η παλιρροϊκή δύναμη έχει σχέση με τις διάφορες θέσεις των τριών ουράνιων σωμάτων. Η δύναμη αυτή είναι μεγαλύτερη, όταν τα τρία ουράνια σώματα είναι σε ευθεία και μικρότερη, όταν σχηματίζουν ορθή γωνία.



Σχήμα 3.30: Ένα άλλο φαινόμενο που οφείλεται στις παλιρροιογόνες δυνάμεις της Σελήνης και του Ηλίου είναι η μετάπτωση και κλόνηση του άξονα περιστροφής της Γης. Η κίνηση αυτή του άξονα ολοκληρώνει μια περιστροφή σε 25.800 έτη.

ισχυρά το κέντρο της Γης και ακόμα λιγότερο τους ωκεανούς της απομακρυσμένης πλευράς. Με αυτόν τον τρόπο οι ωκεανοί τείνουν να διογκώνονται στην πλησιέστερη πλευρά, επειδή το νερό έλκεται περισσότερο και τείνει να απομακρυνθεί από τη Γη. Επίσης εξογκώνονται και τα νερά που βρίσκονται στην απομακρυσμένη πλευρά της, διότι η Γη έλκεται ισχυρότερα απ' ότι τα νερά αυτής της πλευράς, και τείνει έτσι να απομακρυνθεί από αυτά.

Η διαφορά στη δύναμη που ασκείται στις δυο αντιδιαμετρικές πλευρές ονομάζεται **παλιρροϊκή** δύναμη.

Η παραμόρφωση αυτή των ωκεανών μετατοπίζεται περιοδικά, λόγω της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της. Έτσι, αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής από τις μετακινούμενες υδάτινες μάζες που τείνουν να επιβραδύνουν την περιστροφή της Γης. Η περίοδος περιστροφής της Γης αυξάνεται κατά 0,002 s ανά αιώνα. Έτσι, πριν 450 εκατομμύρια χρόνια η μέρα στη Γη διαρκούσε 22 ώρες, ενώ μετά από 145 δισεκατομμύρια χρόνια αυτή θα διαρκεί 27 ημέρες, όσο, δηλαδή, και η περιστροφή της Σελήνης

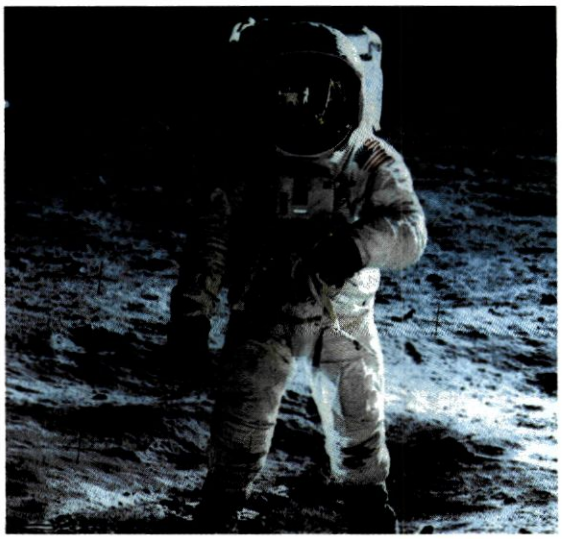
Ανάλογη παλιρροϊκή δύναμη ασκεί και η Γη στη

Η μετάπτωση και η κλόνηση του άξονα της Γης είναι ένα ακόμα φαινόμενο που οφείλεται στην έλξη που ασκούν σε αυτή ο Ήλιος και η Σελήνη (σχ. 3.30).

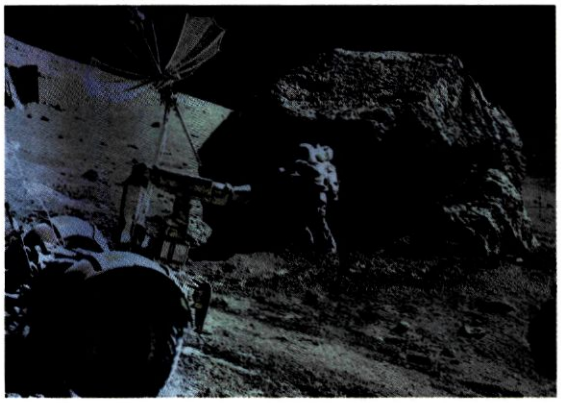
Οι δυνάμεις αυτές σε συνδυασμό με το σχήμα της Γης και τη λόξωση της εκλειπτικής, τη γωνία, δηλαδή, που σχηματίζει ο άξονας περιστροφής της Γης με το επίπεδο της εκλειπτικής (23° 27'), εξαναγκάζουν τον άξονα να περιστρέφεται, όπως ο άξονας μιας σβούρας. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται μετάπτωση του άξονα περιστροφής της Γης. Ταυτόχρονα, λόγω της αλλαγής θέσης της Σελήνης σε σχέση με το επίπεδο της τροχιάς της Γης, προκαλείται η περιοδική κλόνηση του άξονα περιστροφής της η οποία επαναλαμβάνεται κάθε 19 περίπου έτη.

Η ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΛΗΝΗΣ

- 12-9-1959: Πρώτη πρόσκρουση διαστημοπλοίου στη Σελήνη (Lunik 2).
- 4-10-1959: Πρώτη φωτογράφηση από διαστημόπλοιο της αόρατης πλευράς της Σελήνης (Lunik 3).
- 3-2-1966: Πρώτη προσεδάφιση διαστημοπλοίου επί της Σελήνης (Luna 9).
- 21-9-1967: Πρώτη επιστροφή διαστημοπλοίου από τη Σελήνη (Zond 5).
- 21-12-1968: Πρώτη επανδρωμένη πτήση προς τη Σελήνη (Απόλλων 8).
- 21 -7- 1969: Πρώτος περίπατος αστροναυτών στη Σελήνη (Απόλλων 11).



Εικόνα 3.32: Ο πρώτος αστροναύτης στο έδαφος της Σελήνης.



Εικόνα 3.31: Η παρουσία αστροναυτών και οχημάτων στη Σελήνη συγκλόνισε όλη την ανθρωπότητα και άνοιξε νέους ορίζοντες στην εξερεύνηση του διαστήματος.

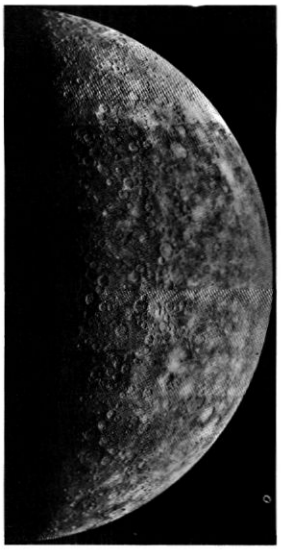
Εικόνα 3.33: Άποψη της επιφάνειας της Σελήνης.

Σελήνη. Στην προηγούμενη παράγραφο αναφερθήκαμε σε δύο φαινόμενα τα οποία οφείλονται στη δύναμη αυτή, δηλαδή το φαινόμενο της σύγχρονης περιστροφής της Σελήνης και τη μετακίνηση του μανδύα της προς την πλευρά την πλησιέστερη στη Γη.

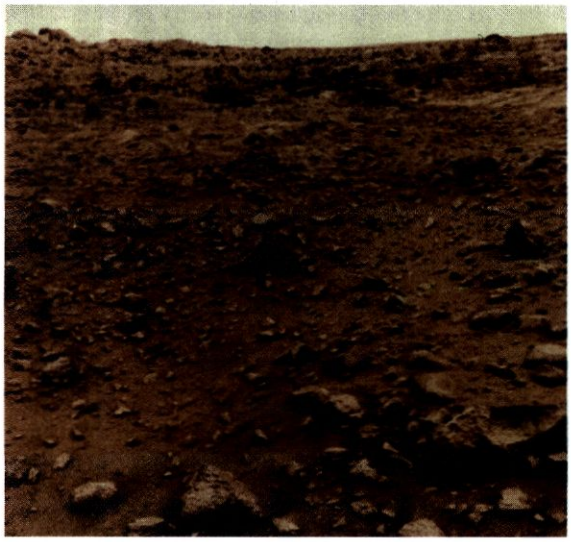
3.5 ΟΙ ΓΗΙΝΟΙ ΠΛΑΝΗΤΕΣ

Ο Ερμής, η Αφροδίτη και ο Άρης έχουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά με τη Γη, γι' αυτό και όλοι μαζί χαρακτηρίζονται ως γήινοι πλανήτες. Οι πλανήτες αυτοί είναι οι πλησιέστεροι προς τη Γη και μπορούν να παρατηρηθούν ορισμένες εποχές του έτους με απλά μέσα (κιάλια ή μικρά τηλεσκόπια). Συνήθως ο Ερμής και η Αφροδίτη παρατηρούνται καλύτερα λίγο πριν από την ανατολή του Ηλίου ή λίγο μετά τη δύση του και στις περιοχές του ουρανού όπου ανατέλλει και δύει ο Ήλιος, αφού όπως όλοι οι πλανήτες, εκτός από τον Πλούτωνα, κινούνται κοντά στο ζωδιακό κύκλο. Ο Ερμής είναι πιο δύσκολο να παρατηρηθεί, αλλά η λαμπρή Αφροδίτη και ο κοκκινωπός Άρης είναι πολύ πιο εύκολο.

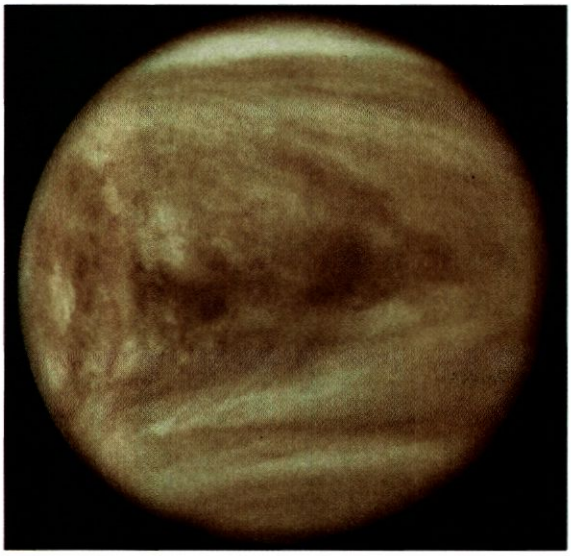
Τα **φυσικά** τους χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν. Παρατηρούμε ότι έχουν κοινή χημική σύσταση και περίπου την ίδια πυκνότητα. Φυσικά υπάρχουν και διαφορές, όπως αυτή της επιφανειακής μέσης θερμοκρασίας, η οποία προφανώς οφείλεται στην απόσταση κάθε πλανήτη από τον Ήλιο. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι κινήσεις τους και ιδιαίτερα η περιστροφή γύρω από τον άξονά τους. Συγκεκριμένα, ενώ οι περισσότεροι πλανήτες



Εικόνα 3.34: Άποψη της επιφάνειας του Ερμή. Διακρίνεται το ανάγλυφο της επιφάνειάς του με τους κρατήρες, τα όρη, τις πεδιάδες και τις οροσειρές.



Εικόνα 3.35: Άποψη της επιφάνειας του Άρη.



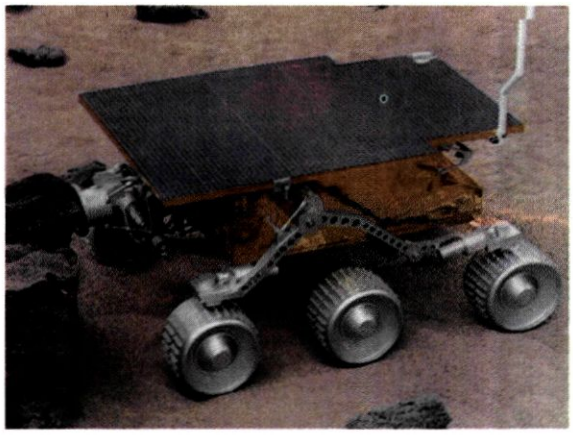
Εικόνα 3.36: Η ατμόσφαιρα της Αφροδίτης: Πυκνά σύννεφα καλύπτουν όλο τον πλανήτη και κινούνται από τον ισημερινό προς τους πόλους.

Εικόνα 3.37: Ο κόκκινος πλανήτης με τη λευκή κηλίδα στον ένα πόλο του.

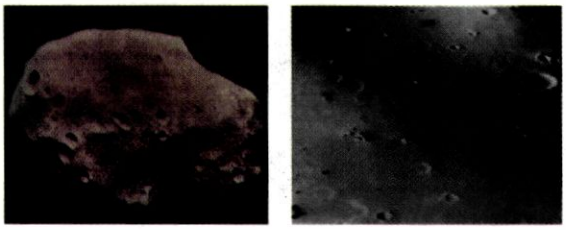
περιστρέφονται από τη δύση προς την ανατολή, η Αφροδίτη περιστρέφεται από την ανατολή προς τη δύση, δηλαδή κατά την ανάδρομη φορά.

Ο Ερμής και ο Άρης έχουν αραιή **ατμόσφαιρα** σε σχέση με την πολύ πυκνή της Αφροδίτης. Στην ατμόσφαιρα της Αφροδίτης και του Άρη κυριαρχεί το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90%, ενώ ελάχιστο είναι το οξυγόνο. Στον Ερμή το οξυγόνο όπως και το ήλιο (He) υπάρχουν σε αρκετά μεγάλο ποσοστό, περίπου 40% το καθένα. Ισχυρές ανεμοθύελλες σκόνης καλύπτουν ολόκληρο τον Άρη για μήνες. Τα πυκνά νέφη της Αφροδίτης που αποτελούνται κυρίως από διοξείδιο του άνθρακα και θεϊκό οξύ λειτουργούν ως θερμοκήπιο και είναι υπεύθυνα για τις υψηλές θερμοκρασίες που παρατηρούνται στην επιφάνειά της (450 με 500 C).

Η **επιφάνεια** και των τριών πλανητών είναι γεμάτη από κρατήρες, όρη, οροσειρές και πεδιάδες. Στην



Εικόνα 3.38: Ο Sojourner που επισκέφτηκε τον Άρη (Ιούλιος 1997).



Εικόνα 3.39: Οι δορυφόροι του Άρη, Φόβος και Δείμος.

Εικόνα 3.40: Η δύση του Ήλιου στον Άρη.

επιφάνεια της Αφροδίτης υπάρχουν εκτεταμένες πεδιάδες και όρη που φτάνουν σε ύψος 6.000 m. Παρατηρούνται επίσης χαράδρες βάθους μέχρι και 4.000 m. Το ανάγλυφο και των τριών πλανητών είναι αποτέλεσμα έντονης ηφαιστειακής και σεισμικής δραστηριότητας ή και πρόσκρουσης μετεωριτών στην επιφάνειά τους.

Αν παρατηρήσει κανείς την επιφάνεια του Άρη με τηλεσκόπιο, θα παρατηρήσει μια λευκή κηλίδα στους πόλους του, η οποία αποτελείται από ξηρό πάγο (στερεοποιημένο διοξείδιο του άνθρακα) και εμφανίζεται περιοδικά κατά το χειμώνα. Επίσης, θα παρατηρήσει σκοτεινές και πορτοκαλί περιοχές κυρίως στο νότιο ημισφαίριο. Οι σκοτεινές περιοχές που αποτελούν τα 3/8 της επιφάνειάς του είναι ανώμαλες ορεινές περιοχές, ενώ οι πορτοκαλί είναι επίπεδες έρημοι από τις οποίες σηκώνονται τα σύννεφα της σκόνης κατά τις ανεμοθύελλες.

Το **εσωτερικό** των τριών πλανητών έχει δομή όμοια με αυτή της Γης. Αποτελείται, δηλαδή, από τον πυρήνα, ο οποίος περιέχει ενώσεις βαρέων μετάλλων (σίδηρο, νικέλιο κτλ), το μανδύα, που περιέχει ορυκτά πετρώματα, και το φλοιό. Ο Ερμής και ο Άρης

Ένα σημαντικό ζήτημα που αφορά την κίνηση του Ερμή είναι αυτό της **μετάθεσης του περιηλίου** του. Δηλαδή, όπως προκύπτει από τις παρατηρήσεις, το περιήλιο μετακινείται προς ανατολάς κατά 574″ ανά αιώνα. Όμως συνυπολογίζοντας τις παρέλξεις των γνωστών πλανητών δικαιολογείται μια τέτοια μετάθεση, αλλά κατά 532″ ανά αιώνα. Για να δικαιολογηθεί αυτή η διαφορά των 42″, έγιναν διάφορες υποθέσεις, μεταξύ των οποίων και η ύπαρξη ενός άγνωστου πλανήτη που κινείται πιο κοντά στον Ήλιο. Μάλιστα ο πλανήτης αυτός ονομάστηκε Ήφαιστος και υπολογίστηκαν τα στοιχεία της τροχιάς του. Ωστόσο σύντομα αποδείχτηκε ότι δεν υπάρχει τέτοιος πλανήτης. Η ερμηνεία για την παρατηρούμενη διαφορά της μετάθεσης του περιηλίου δόθηκε από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, σύμφωνα με την οποία ο νόμος της παγκόσμιας έλξης, όπως διατυπώθηκε από το Νεύτωνα, δεν είναι απολύτως ακριβής και πρέπει να διορθωθεί.

έχουν αδύναμο **μαγνητικό πεδίο** που οφείλεται στο στερεό πυρήνα τους. Η Αφροδίτη, λόγω της αργής περιστροφής της γύρω από τον άξονά της, δεν έχει μαγνητικό πεδίο.

Από τους τρεις πλανήτες ο Ερμής και η Αφροδίτη δεν έχουν **δορυφόρους.** Ο Άρης έχει δύο μικρούς, τον Φόβο και τον Δείμο, οι οποίοι ανακαλύφτηκαν το 1887.

Οι αρχαίοι λαοί και ιδιαίτερα οι αρχαίοι Έλληνες συνέδεσαν τους τρεις γήινους πλανήτες με τη ζωή τους και τις ανησυχίες τους.

Στον Ερμή δόθηκε το όνομα του αγγελιοφόρου των θεών του Ολύμπου για τη γρήγορη κίνησή του στον ουρανό. *«Γεννημένος την αυγή εφεύρε κατά τη διάρκεια της ημέρας και έπαιξε τη λύρα· και το βράδυ έκλεψε τα βόδια του Απόλλωνος»* λέγει ο ομηρικός ύμνος.

Στη λαμπερή Αφροδίτη έδωσαν το όνομα της θεάς της ομορφιάς και του έρωτα. Τη συνέδεσαν έτσι με την πιο όμορφη εποχή του έτους, την άνοιξη, τότε που, πριν ανατείλει ο Ήλιος, πρώτη αυτή έφερνε το φως της μέρας. Ακόμα και σήμερα την ονομάζουμε Έσπερο, καθώς τη βλέπουμε να εμφανίζεται μετά τη δύση του Ήλιου. Αδελφές του Έσπερου ήταν οι Εσπερίδες και πατέρας του ο Άτλας. Πούλια ή Εωσφόρο ή Φωσφόρο την ονόμαζαν, μια και αυτή έφερνε το φως της μέρας. Ο Εωσφόρος ήταν γιος του Αστραίου και της Αυγής.

Στον κοκκινωπό Άρη έδωσαν το όνομα του θεού του πολέμου που, λόγω της εμφάνισής του, ταίριαζε περισσότερο. Ο Αριστοτέλης αναφέρει απόκρυψή του από τη Σελήνη: *«Τήν γαρ Σελήνη ἑωράκαμεν διχοτόμον μεν οὖσαν, ὑπελθοῦσαν δέ τόν ἀστέρα τοῦ Ἄρεως και ἀποκρυφθέντα μέν κατά τό μέλαν αὐτῆς, ἐξελθόντα δε κατά το φαιόν, λαμπρόν».*

Οι Ρωμαίοι ονόμασαν τον Ερμή Mercury που, σύμφωνα με τη μυθολογία τους, ήταν ο θεός του εμπορίου των ταξιδιών και των κλοπών. Λάτρευαν την Αφροδίτη με το όνομα Venus και τη θεωρούσαν μητέρα του Έρωτα και του Αινεία. Στον Άρη, που τον ονόμαζαν Mars, είχαν αφιερώσει την τρίτη ημέρα της εβδομάδας (dies Martes) καθώς και τον πρώτο μήνα του έτους τους, το Μάρτιο.

Πίνακας 3.41: Τα φυσικά χαρακτηριστικά των γήινων πλανητών.

Χαρακτηριστικά	Ερμής	Αφροδίτη	Άρης
Ακτίνα στον Ισημερινό	2.439,7 Km	6.051,8 Km	3.397 Km
Μάζα	$3,303\ 10^{23}$ Kg	$4,869\ 10^{24}$ Kg	$6,421\ 10^{23}$ Kg
Μέση πυκνότητα	5,42 gr/cm^3	5,25 gr/cm^3	3,940 gr/cm^3
Ταχύτητα διαφυγής	4,25 Km/sec	10,36 Km/sec	5,0 km/sec
Επιτάχυνση της βαρύτητας	2,78 m/sec^2	8,87 m/sec^2	3,72 m/sec^2
Μέση απόσταση απ' τον Ήλιο	57.910.000 Km	108.200.000 Km	227.940.000 Km
Μέση θερμοκρασία	179 C	482 C	-35 C (-87 έως 17 C)
Ατμοσφαιρική πίεση	;	92 ατμόσφαιρες	0,007 ατμόσφαιρες
Περιήλιο	46.000.000 Km	107.000.000 Km	206.600.000 Km
Αφήλιο	69.800.000 Km	108.900.000 Km	249.200.000 Km
Περίοδος περιστροφής γύρω από τον άξονά του	58,6462 γήινες ημέρες	243,02 γήινες ημέρες (κατά την ανάδρομη φορά)	24,6 ώρες
Περίοδος περιφοράς γύρω από τον Ήλιο	87,969 γήινες ημέρες	224,701 γήινες ημέρες	1,88 γήινα έτη (687 ημέρες)
Μέση ταχύτητα περιφοράς γύρω από τον Ήλιο	47,88 Km/sec	35,02 Km/sec	24,14 Km/sec

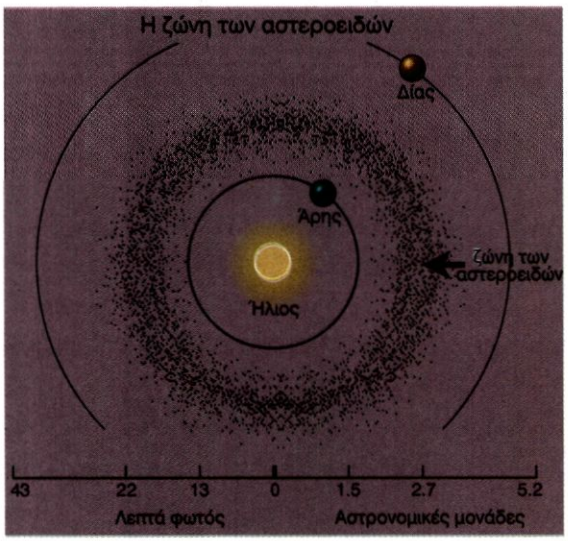
Οι δορυφόροι του Άρη

	Απόσταση από τον Άρη	Διάμετρος	Μάζα X 10^{16} kg	Χρόνος περιφοράς γύρω από τον Άρη	Ανακάλυψη	
Φόβος	9378 Km	22,2 Km	1,08	$7^h\ 39^m$	1877	Η περίοδος περιφοράς του Φόβου είναι μικρότερη από την περιστροφή του Άρη. Άρα, αυτός ανατέλλει από τη δύση και δύει στην ανατολή του Άρη.
Δείμος	23.459 Km	12,6 Km	1,8	$30^h\ 18^m$	1877	

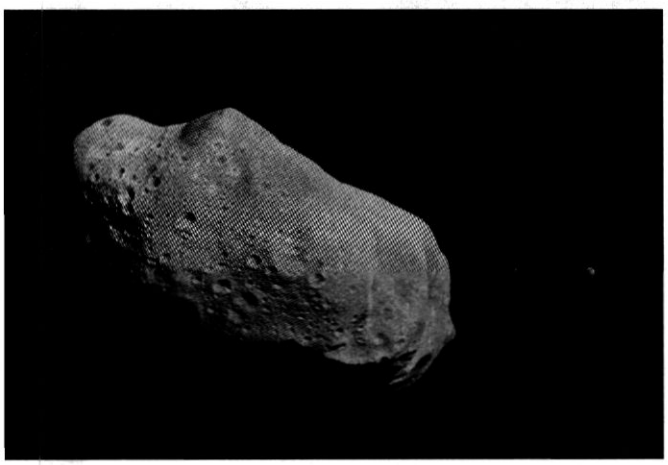
Η **εξερεύνηση** των γήινων πλανητών ξεκινάει πολύ πριν τους επισκεφτούν τα διαστημόπλοια. Πολλοί αστρονόμοι προσπάθησαν να χαρτογραφήσουν την επιφάνειά τους, με πιο γνωστούς το Σιαπαρέλλι, το Λόουελ και τον Έλληνα Ευγένιο Αντωνιάδη.

Όμως η ουσιαστική εξερεύνηση αρχίζει με την επίσκεψη των διαστημοπλοίων. Το πρόγραμμα «Μάρινερ» που άρχισε στις αρχές της δεκαετίας 1960, τα «Βίκιγκ», τα «Πάιονηρ» 1 και 2, τα Σοβιετικά «Βενέρα», ο «Μαγγελάνος» και τελευταία ο «Ιχνηλάτης» προσέφεραν πολλά στην εξερεύνηση των τριών πλανητών. Η εξερεύνηση αυτή θα συνεχιστεί και στο μέλλον με νέα προγράμματα που καταρτίζονται από τους ερευνητές, προκειμένου να δοθούν απαντήσεις σε σημαντικά ερωτήματα.

Εικόνα 3.42: Ο αστεροειδής 951 Gaspra, όπως τον φωτογράφισε το διαστημόπλοιο Γαλιλαίος.



Σχήμα 3.43: Η θέση των αστεροειδών στο ηλιακό σύστημα.



Εικόνα 3.44: Το διαστημόπλοιο Γαλιλαίος φωτογράφισε τον Αύγουστο του 1993 τον αστεροειδή 243 Ida.

Η ιδέα της ύπαρξης ζωής στον Άρη αρχίζει από την εποχή που οι Σιαπαρέλλι και Λόουελ ανακοίνωσαν πως στον Άρη παρατήρησαν ένα σύστημα από λεπτές γραμμές, τις οποίες ονόμασαν κανάλια. Υπέθεσαν μάλιστα ότι αυτά είναι προϊόντα κατασκευών από νοήμονα όντα. Αργότερα, λεπτομερέστερες έρευνες που έγιναν με μεγαλύτερα τηλεσκόπια έδειξαν ότι τέτοιοι σχηματισμοί δεν υπάρχουν. Ωστόσο η ιδέα της ύπαρξης ζωής σε έναν πλανήτη που έχει πολύ μεγάλες ομοιότητες με τη Γη εξακολουθεί ακόμα και σήμερα να απασχολεί τους ερευνητές. Και ένα από τα βασικά στοιχεία που αναζητούνται είναι η ύπαρξη νερού.

Μερικοί γεωλογικοί σχηματισμοί που παρατηρούνται στο νότιο ημισφαίριο, τα δίκτυα κοιλάδων, μας κάνουν να πιστεύουμε ότι σχηματίστηκαν με τη ροή νερού στην επιφάνεια του πλανήτη. Το νερό αυτό πρέπει να προήλθε από το λιώσιμο υπόγειων πάγων. Σε άλλες περιοχές, όπως αυτή στην οποία προσγειώθηκε ο «Ιχνηλάτης», φαίνεται ότι έχει γίνει σε τεράστιο μέγεθος κατακλυσμική και σύντομη ροή επιφανειακών υδάτων. Πού όμως βρέθηκε στο παρελθόν τόσο πολύ νερό; Οι σημερινές συνθήκες απαγορεύουν τη δημιουργία τέτοιων καταστάσεων. Ωστόσο στο παρελθόν ο Άρης είχε μεγαλύτερης πυκνότητας ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα το οξυγόνο της να ενωθεί με ορυκτά της επιφάνειάς της και από τις σχισμές που σχηματίστηκαν να περάσει στο εσωτερικό του πλανήτη. Το ανώτερο τμήμα του πάγωσε και έτσι προστάτεψε τα βαθύτερα τμήματα. Στα μετέπειτα χρόνια η έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα πίεσε τρομακτικά το νερό, το οποίο μέσα από άλλα φαράγγια μεταφέρθηκε με εκρηκτικό τρόπο στην επιφάνεια και δημιούργησε αυτές τις τεράστιες και σύντομες πλημμύρες. Το νερό αυτό στην επιφάνεια πλέον είτε έβρασε και διασπάστηκε λόγω της χαμηλής πίεσης είτε επέστρεψε στο εσωτερικό του πλανήτη.

Παρ' όλη την υπόθεση της ύπαρξης νερού κατά το παρελθόν στον Άρη, οι τωρινές φυσικές συνθήκες αλλά και αυτές του παρελθόντος αποκλείουν την πιθανότητα της ύπαρξης κάποιας ανώτερης μορφής ζωής. Ούτε καν πολυκύτταροι οργανισμοί δεν πρέπει να υπήρξαν. Αν υπάρχει ζωή, αυτή θα είναι σε επίπεδο μονοκύτταρων βακτηριδίων. Οι έρευνες σε μετεωρίτες που προέρχονται από τον Άρη σε γήινα εργαστήρια έφεραν τις πρώτες ενδείξεις για την ύπαρξή τους. Μένει αυτό να επιβεβαιωθεί επιτόπου στον πλανήτη.

Η ΖΩΝΗ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΟΕΙΔΩΝ

Σε απόσταση 2,8 A.U. από τον Ήλιο βρίσκεται η ζώνη των αστεροειδών ή μικρών πλανητών. Σε αυτή τη ζώνη υπάρχει ένα τεράστιο πλήθος από μικρά σώματα. Τα χιλιάδες μικρά αυτά σώματα έχουν διάμετρο από 1-940 Km και η συνολική τους μάζα είναι 1.000 φορές μικρότερη από τη μάζα της Γης. Φυσικά, λόγω της μικρής μάζας που έχει το καθένα, έχουν μικρή ελκτική ικανότητα και έτσι δεν μπορούν να συγκρατήσουν κάποια ατμόσφαιρα. Το σχήμα των

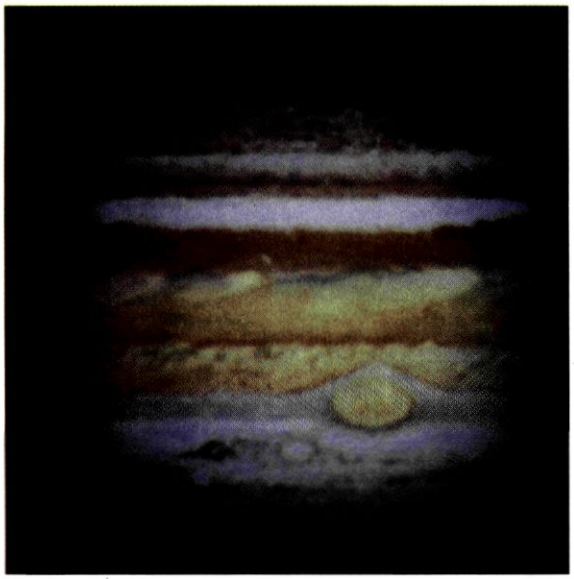
Οι πιο γνωστοί αστεροειδείς

Όνομα	Ακτίνα (Km)	Απόσταση από τον Ήλιο (Km)
951-Gaspra	17x10	205.000.000
243-Ida	58x23	270.000.000
Εστία	262,5	353.400.000
Δήμητρα	457	413.900.000

αστεροειδών είναι ακανόνιστο και τους περισσότερους μπορούμε να τους θεωρήσουμε μεγάλους βράχους που περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο σε ελλειπτικές τροχιές.

Οι αστεροειδείς αποτελούνται από πυριτικά άλατα, σίδηρο, νικέλιο, άνθρακα και το υπόλοιπο από άλλα υλικά.

Οι αστεροειδείς είναι σώματα που σχηματίστηκαν από την εποχή της δημιουργίας του ηλιακού συστήματος. Έτσι η μελέτη τους έχει μεγάλο ενδιαφέρον γιατί δίνει πληροφορίες για εκείνη την περίοδο. Πριν από το 1991 οι μόνες πληροφορίες προέρχονταν από την παρατήρησή τους από τη Γη. Από τον Οκτώβριο του 1991, που το διαστημόπλοιο Γαλιλαίος πλησίασε και φωτογράφισε τον αστεροειδή 951 Gaspra, άνοιξε μια νέα σελίδα στην εξερεύνηση των αστεροειδών.

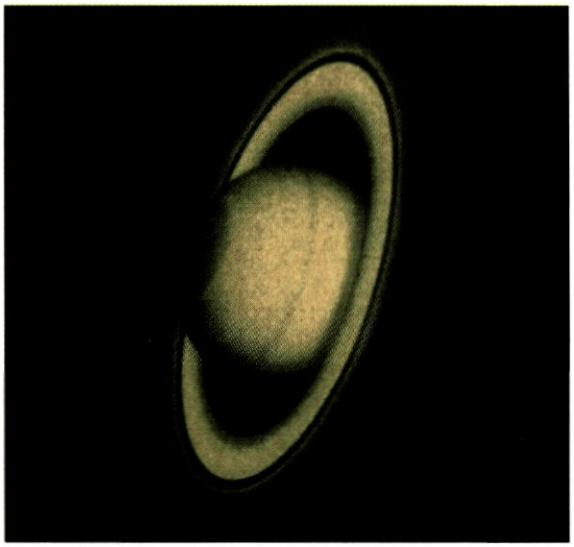


Εικόνα 3.45: Ο Δίας και η εξωτερική όψη της ατμόσφαιράς του. Διακρίνονται οι παράλληλες προς τον ισημερινό ζώνες, που οφείλονται στη διαφορική κίνηση της ατμόσφαιρας και στη δημιουργία στροβίλων.

Στα 1766 ο Γερμανός μαθηματικός Τίτιους ανακάλυψε έναν εμπειρικό νόμο με τον οποίο υπολογίζονταν οι αποστάσεις των πλανητών. Ο νόμος αυτός το 1772 δημοσιεύτηκε από τον επίσης Γερμανό αστρονόμο Μπόντε. Σύμφωνα με το νόμο αυτό, αν στους όρους της γεωμετρικής προόδου 0,3,6,12,24,48,96,192,384,768 προσθέσουμε τον αριθμό 4 και το αποτέλεσμα το διαιρέσουμε με το 10, θα έχουμε σε A.U. την απόσταση των πλανητών. Όταν το 1781 ανακαλύφτηκε ο πλανήτης Ουρανός στην απόσταση των 19 A.U. και επιβεβαιώθηκε έτσι ο νόμος των Μπόντε - Τίτιους, όλοι πίστεψαν ότι στην απόσταση των 2,8 A.U. βρίσκεται επίσης ένας άλλος πλανήτης. Αμέσως άρχισε η αναζήτησή του με τα τότε τηλεσκόπια. Την πρωτοχρονιά του 1801 ο Ιταλός αστρονόμος Πιάτσι ανακάλυψε έναν αστέρα 7ου μεγέθους. Ο Μπόντε που πληροφορήθηκε την ανακάλυψη αυτή κατέληξε στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για το ζητούμενο πλανήτη. Όμως την περίοδο αυτή ο ανακαλυφθείς αστέρας χάθηκε από τα τηλεσκόπια και έτσι ανάγκασε τον Μπόντε να ζητήσει τον υπολογισμό της τροχιάς του από το νεαρό τότε μαθηματικό Γκάους. Ο Γκάους γνωρίζοντας μόνο τρεις θέσεις του κατάφερε να υπολογίσει την τροχιά του και τη θέση που θα είχε την 1η Ιανουαρίου 1802. Η επιβεβαίωση ήρθε στην ώρα της και η όλη προσπάθεια ήταν ένας θρίαμβος για τα Μαθηματικά, την Αστρονομία και τη συνεργασία των δύο επιστημών. Ο αστεροειδής Ceres (Δήμητρα) είχε ανακαλυφθεί με αυτόν τον τρόπο.

3.6 ΟΙ ΠΛΑΝΗΤΕΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΑ

Ο Δίας, ο Κρόνος, ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας αποτελούν τη δεύτερη ομάδα πλανητών με κοινά χαρακτηριστικά. Ονομάζονται δίιοι πλανήτες από το όνομα του μεγαλύτερου πλανήτη του ηλιακού μας συστήματος, του Δία.

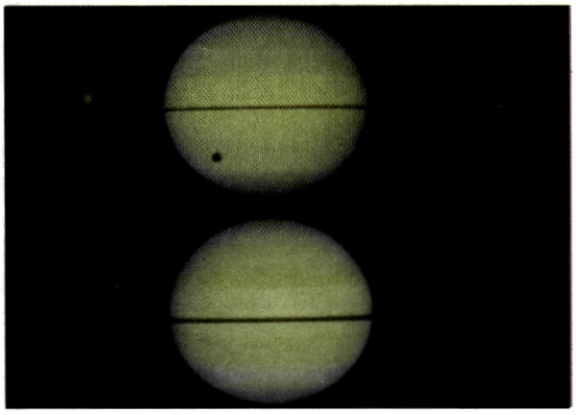


Εικόνα 3.46: Ο Κρόνος και το σύστημα των δακτυλίων του. Διακρίνεται το χώρισμα Κασίνι ανάμεσα στους λαμπρούς δακτυλίους του.

Εικόνα 3.47: Η ερυθρά κηλίδα του Δία. Ένας τεράστιος στρόβιλος που κινείται προς την αντίθετη πλευρά των δεικτών του ρολογιού και συμπληρώνει μια περιστροφή κάθε 7 ημέρες. Το κοκκινωπό χρώμα της οφείλεται στα χημικά συστατικά των νεφών της.

Παρατηρούνται με τη βοήθεια τηλεσκοπίου, εκτός από το Δία και τον Κρόνο που που φαίνονται και με γυμνό μάτι να κινούνται αργά ανάμεσα στους απλανείς. Ο Δίας είναι το πιο λαμπρό ουράνιο σώμα μετά την Αφροδίτη και έχει κιτρινωπό χρώμα. Ο Δίας κατέχει κεντρική θέση στην ιστορία της Αστρονομίας, γιατί παρατηρώντας τον ο Γαλιλαίος για πρώτη φορά το 1610 μ.Χ. επιβεβαίωσε τη θεωρία του Κοπέρνικου.

Αν η παρατήρηση του Δία επιβεβαίωσε την Κοπερνίκεια θεωρία, η παρατήρηση του Ποσειδώνα αποτέλεσε τη μεγάλη συνεισφορά των Μαθηματικών και της Νευτώνειας Μηχανικής στην επιστήμη της Αστρονομίας. Ο Ποσειδώνας παρατηρήθηκε για πρώτη φορά στις 23 Σεπτεμβρίου 1846 (εικ. 3.50). Τα στοιχεία της τροχιάς του και το σημείο στο οποίο θα βρισκόταν τη συγκεκριμένη ημερομηνία υπολογίστηκαν από τις ανωμαλίες που προκαλούσε στην κίνηση του Ουρανού (ο Ουρανός παρατηρήθηκε για πρώτη φορά στις 13 Μαρτίου 1781 από τον Χέρσελ).



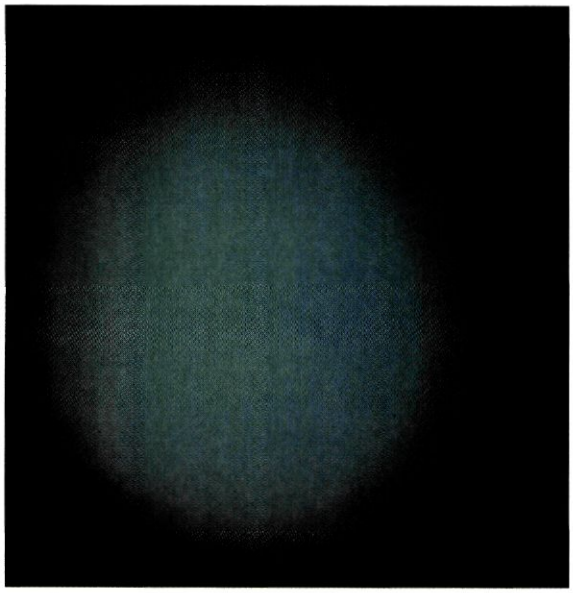
Εικόνα 3.48: Ο Κρόνος, όπως φωτογραφήθηκε από το διαστημικό τηλεσκόπιο Χαμπλ στις 22 Μαΐου 1995. Κάθε 15 χρόνια η Γη βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με αυτό των δακτυλίων του Κρόνου και έτσι είναι δυνατόν να ανακαλυφτούν πιθανοί νέοι δορυφόροι.

Τα **χαρακτηριστικά** των πλανητών αυτών δίνονται στον πίνακα 3.53. Έχει ενδιαφέρον μια σύγκριση αυτών μεταξύ τους καθώς και με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των γήινων πλανητών, στον πίνακα 3.41.

Η **ατμόσφαιρα** και των τεσσάρων πλανητών αποτελείται από υδρογόνο σε μεγάλες ποσότητες, που ξεπερνούν το 80%, ήλιο, μεθάνιο και ίχνη άλλων στοιχείων. Το μεθάνιο είναι υπεύθυνο για το γαλάζιο χρώμα του Ουρανού και το μπλε του Ποσειδώνα (εικ. 3.49, 3.50). Συνήθως η ατμόσφαιρα των πλανητών αυτών αποτελείται από δύο στρώματα. Το ανώτερο στρώμα είναι διαφανές στο εξωτερικό του μέρος και πυκνώνει όσο κατεβαίνουμε προς την επιφάνεια (εικ. 3.45). Το δεύτερο στρώμα αποτελείται από πυκνά νέφη μοριακού υδρογόνου. Τα νέφη αυτά κινούνται με διάφορες ταχύτητες και είναι υπεύθυνα για πολλά από τα φαινόμενα που παρατηρούνται στους δίιους πλανήτες. Ένα τέτοιο φαινόμενο είναι η **ερυθρά κηλίδα** (εικ. 3.47) που παρατηρείται στο Δία. Είναι ένας τεράστιος στρόβιλος σε σχήμα έλλειψης με μεγάλο άξονα 40.000 Km και μικρό 12.000 Km, που κινείται με φορά αντίθετη των δεικτών του ρολογιού και συμπληρώνει μια περιστροφή κάθε επτά ημέρες. Είναι τόσο μεγάλη, που συγκρίνεται με τις διαστάσεις της Γης. Ανάλογα φαινόμενα, αλλά σε μικρότερη έκταση, παρατηρούνται και στον Ποσειδώνα. Στον Κρόνο και στον Ουρανό τα νέφη διατάσσονται σε ζώνες παράλληλες προς τον ισημερινό τους, εξαιτίας της διαφορικής κίνησης αυτών. Σε ορισμένους πλανήτες, όπως στο Δια, κάτω από την επιφάνεια των νεφών πιθανόν να επιπλέει στρώμα με υγρό υδρογόνο, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν σαφή όρια μεταξύ της ατμόσφαιρας και της επιφάνειάς του.

Το **εσωτερικό** των δίιων πλανητών αποτελείται κυρίως από βραχώδη υλικά και έχει την εξής δομή: Υπάρχει ένας μικρός πετρώδης πυρήνας και ακολουθεί ένας συνήθως παγωμένος μανδύας από πετρώματα,

Διαφορική περιστροφή: Η περιστροφή ενός σώματος κατά την οποία διαφορετικά τμήματά του έχουν διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες περιστροφής (και επομένως διαφορετικές περιόδους περιστροφής).



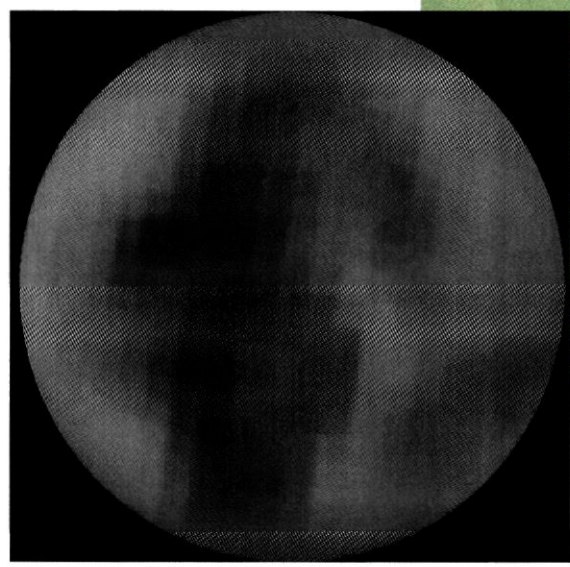
Εικόνα 3.49: Ο πλανήτης Ουρανός. Το γαλάζιο χρώμα του οφείλεται στην παρουσία μεθανίου στην ατμόσφαιρά του.

κρυσταλλική αμμωνία, μεθάνιο και σε ορισμένες περιπτώσεις νερό.

Ο Δίας, ο Ποσειδώνας και ο Ουρανός έχουν ισχυρό **μαγνητικό** πεδίο, σε αντίθεση με το πολύ ασθενές του Κρόνου. Το μαγνητικό πεδίο του Δία είναι 10 φορές ισχυρότερο από εκείνο της Γης και εκτείνεται σε μεγάλη απόσταση απ' αυτόν.

Ο Δίας και ο Κρόνος εκπέμπουν περισσότερη ενέργεια (σχεδόν διπλάσια) απ' όση δέχονται από τον Ήλιο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι πλανήτες αυτοί διαρκώς συστέλλονται, με αποτέλεσμα να παράγουν θερμότητα. Η **συστολή** αυτή έχει αποτέλεσμα η ακτίνα

Εικόνα 3.50: Ο άλλος γαλάζιος πλανήτης, ο Ποσειδώνας. Διακρίνεται η μεγάλη σκοτεινή κηλίδα του, ένδειξη της έντονης δραστηριότητας που πραγματοποιείται στην ατμόσφαιρά του. Η κηλίδα αυτή έχει μήκος 30.000 Km κινείται αντίθετα από την κίνηση των δεικτών του ρολογιού.



Εικόνα 3.51: Η πλήρης εξήγηση των ανωμαλιών (παρέλξεων) της τροχιάς του Ουρανού, η οποία οδήγησε τους επιστήμονες να ανακαλύψουν τον Ποσειδώνα, ήταν η αιτία για να ανακαλυφτεί και ο ένατος πλανήτης του ηλιακού μας συστήματος, ο Πλούτωνας. Πράγματι στις 18 Φεβρουαρίου 1930 βρέθηκε ο νέος πλανήτης επιβεβαιώνοντας τη σχετική υπόθεση για τις επιπλέον ανωμαλίες της τροχιάς του Ουρανού από τον αστρονόμο Π. Λόουελ.

του Δία να μειώνεται λιγότερο από 1mm κατ' έτος.

Ένα από τα πιο εντυπωσιακά φαινόμενα των δίιων πλανητών είναι οι **δακτύλιοί** τους. Οι δακτύλιοι είναι πολύ λεπτοί, με πάχος μερικές εκατοντάδες μέτρα και με πλάτος που σε μερικές περιπτώσεις φτάνει και τα 200.000 Km. Εντυπωσιακότεροι από όλους είναι οι δακτύλιοι του Κρόνου (εικ. 3.46 και 3.48).

Οι δίιοι πλανήτες έχουν πολλούς **δορυφόρους.** Ο Δίας έχει 16, ο Κρόνος περισσότερους από 18, ο Ουρανός 17 και ο Ποσειδώνας 8. Τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στους πίνακες 3.54 -3.57. Από αυτούς ο Γανυμήδης του Δία είναι ο μεγαλύτερος δορυφόρος του ηλιακού συστήματος, μεγαλύτερος από τον Ερμή και τον Πλούτωνα.

Η **εξερεύνηση** των δίιων πλανητών από διαστημόπλοια έγινε δυνατή στις δεκαετίες του 1970 και 1980. Η επίσκεψή των «Πάιονηρ» 10 και 11 καθώς και των «Βόγιατζερ» 1 και 2 είχε αποτέλεσμα να ανακαλυφτούν, εκτός των άλλων, νέοι δορυφόροι των πλανητών. Επίσης μελετήθηκαν τα μαγνητικά τους πεδία, η ατμόσφαιρά τους και οι δακτύλιοί τους.

ΠΛΟΥΤΩΝΑΣ

Ο τελευταίος πλανήτης του ηλιακού μας συστήματος, ο Πλούτωνας, μοιάζει πιο πολύ με τους γήινους

παρά με τους δίιους πλανήτες. Γι' αυτό και αναφέρεται ξεχωριστά.

Ο Πλούτωνας (εικ. 3.51,3.52) είναι τόσο μακριά από τη Γη, που το φως του κάνει περίπου 330 λεπτά για να φτάσει σ' αυτή. Η **διάμετρός** του είναι μόλις το 0,18 της διαμέτρου της Γης και η **μάζα** του το 0,003 της μάζας της Γης[1].

Περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο σε ελλειπτική τροχιά με μεγάλη σχετικά εκκεντρότητα και έτσι πλησιάζει τον Ήλιο στο περιήλιο περισσότερο από τον Ποσειδώνα. Περιστρέφεται κατά την ανάδρομη φορά και συμπληρώνει μια περιστροφή σε 6,387 ημέρες.

Οι γνώσεις μας για τον Πλούτωνα στηρίζονται στις παρατηρήσεις μας από τη Γη. Βρέθηκε λοιπόν ότι ο πλανήτης αυτός έχει μια λεπτή **ατμόσφαιρα** αποτελούμενη πιθανώς από μεθάνιο, η οποία ασκεί στην επιφάνειά του πίεση 100.000 φορές ασθενέστερη από αυτή της Γης. Η ατμόσφαιρα αυτή φαίνεται να συμπυ-

[1]Εξαιτίας του μικρού του μεγέθους σε σχέση με τους άλλους πλανήτες καθώς και των υπολοίπων φυσικών χαρακτηριστικών, πολλοί επιστήμονες σήμερα αναρωτιώνται αν ανήκει στην οικογένεια των πλανητών.

Εικόνα 3.52: Ο Πλούτωνας και ο Χάροντας.

Πίνακας 3.53: Τα φυσικά χαρακτηριστικά των δίιων πλανητών.

Χαρακτηριστικά	Δίας	Κρόνος	Ουρανός	Ποσειδώνας	Πλούτωνας
Ακτίνα στον Ισημερινό	71.492 Km	60.266 Km	25.559 Km	24.746 Km	1.160 Km
Μάζα	$1,9 \times 10^{27}$ Kg	$5,688 \times 10^{26}$	$8,686 \times 10^{25}$ Kg	$1,024 \times 10^{26}$ Kg	$1,29 \times 10^{22}$ Kg
Μέση πυκνότητα	1,33 gr/cm^3	0,69 gr / cm^3	1,29 gr/cm^3	1,64 gr/cm^3	2,05 gr/cm^3
Ταχύτητα διαφυγής	59,56 Km/s	35,49 Km/s	21,30 Km/s	23,50 Km/s	1,22 Km/s
Επιτάχυνση της βαρύτητας	22,88 m/s^2	9,05 m/s^2	7,77 m/s^2	11,0 m/s^2	0,4 m/s^2
Μέση απόσταση από τον Ήλιο	778.330.000 Km	1.429.400.000 Km	2.870.990.000 Km	4.504.300.000 Km	5.900.100.000 Km
Μέση θερμοκρασία	-121C έως 17C	-125C	-193C	-218 C	-223 C έως -233C
Περιήλιο	740.600.000 Km	1.349.900.000 Km	2.739.300.000 Km	4.465.600.000 Km	4.425.100.000 Km
Αφήλιο	816.000.000 Km	1.508.900.000 Km	3.010.700.000 Km	4.546.100.000 Km	7.375.600.000 Km
Περίοδος περιστροφής γύρω από τον άξονά του	9,8 ώρες	10,233 ώρες	17,24 ώρες	16,1 ώρες	6,3872 ημέρες
Περίοδος περιφοράς γύρω από τον Ήλιο	11,86 γήινα έτη	29,458 έτη	84,01 έτη	164,79 έτη	248,54 έτη
Μέση ταχύτητα περιφοράς γύρω από τον Ήλιο	13,07 Km/s	9,67 Km/s	6,81 Km/s	5,45 Km/s	0,23 Km/s

Πίνακας 3.54: Οι δορυφόροι του Ποσειδώνα και του Πλούτωνα.

	Ακτίνα (Km)	Μάζα (Kg)	Απόσταση (Km)	Ανακάλυψη
Naiad	29	;	48.000	Βόγιατζερ 2, 1989
Thalassa	40	;	50.000	Βόγιατζερ 2, 1989
Despoina	74	;	52.500	Βόγιατζερ 2, 1989
Galatea	79	;	62.000	Βόγιατζερ 2, 1989
Larissa	104X89	;	73.600	Βόγιατζερ 2, 1989
Proteus	200	;	117.600	Βόγιατζερ 2, 1989
Triton	1.350	$2,14 \times 10^{22}$	354.800	W. Lassell, 1846
Nereid	170	;	5.513.40	G. Kuiper, 1949
Charon	635	$1,77 \times 10^{21}$	19.640	J. Christy, 1978

ΟΙ ΠΛΑΝΗΤΕΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΑ

Οι αρχαίοι Έλληνες έδωσαν το όνομα του πιο σπουδαίου θεού τους στον πλανήτη Δία. Σύμφωνα με τη μυθολογία, ο Δίας είναι γιος του Κρόνου. Γεννήθηκε κρυφά από τον πατέρα του σε μια σπηλιά και μεγάλωσε με τις φροντίδες των Νυμφών του όρου Δίκτυς ή κατ' άλλους από τις κόρες του βασιλιά της Κρήτης Μελίσσου, Αδράστεια και Μέλισσα. Επίσης ότι τράφηκε με το γάλα της κατσίκας Αμάλθειας. Οι Ρωμαίοι τον ονόμαζαν Jupiter, πού σημαίνει (λάμπων) πατήρ. Αυτό είναι και το όνομα του πλανήτη διεθνώς.

Το όνομα Κρόνος κατά τους Ορφικούς και Στωικούς παράγεται από το Χρόνος, ο οποίος καταβροχθίζει ό,τι ο ίδιος γεννά, όπως ακριβώς έκανε και ο θεός Κρόνος που κατάπιε τα παιδιά του. Οι Ρωμαίοι τον ονόμασαν Saturnus από το ρήμα Satum = σπέρνω. Οι δορυφόροι του έχουν ονόματα Τιτάνων και Γιγάντων, παιδιών του Ουρανού και της Γαίας, όπως ήταν και ο ίδιος ο Κρόνος: Μίμας, Τηθύς, Τιτάν Υπερίων, Ιαπετός, Φοίβη κτλ

Ο Ουρανός, άγνωστος μέχρι το 1781, πήρε το όνομα του θεού Ουρανού, γιου και συζύγου της Γαίας. Σύμφωνα με τη μυθολογία, αυτοί γεννούν αδιάκοπα το καλό και το κακό, τους Θεούς και τους Τιτάνες. Η Γη είναι η καθολική μητέρα η οποία παράγει και τρέφει όλα τα όντα. Ο Ουρανός θέλει να σταματήσει τη δημιουργία και γι' αυτό βυθίζει τα παιδιά του, νέφη και βροχή, στα έγκατα της Γης. Ο γιος τους Κρόνος κτυπά και απομακρύνει τον πατέρα Ουρανό. Γι' αυτό ο πέρα από τον Κρόνο πλανήτης ονομάστηκε από τους σύγχρονους αστρονόμους Ουρανός. Οι δορυφόροι του παίρνουν ονόματα από έργα του Σαίξπηρ, Τιτάνας, Όβερον, Μιράντα, Αριήλ κτλ.

Στον όγδοο πλανήτη δόθηκε το όνομα Ποσειδών, που είναι συνέχεια των ονομάτων των άλλων θεών που δόθηκαν στους προηγούμενους πλανήτες. Είναι ο θεός της θάλασσας και λατρευόταν σε όλη την Ελλάδα και την Ιταλία. Οι δορυφόροι του, Τρίτων και Νηρηίς, κατά τη μυθολογία ήταν θαλάσσιοι θεοί, από τη μέση και πάνω άνδρες και από τη μέση και κάτω τέρατα.

Ο πιο μακρινός πλανήτης, ο αιώνια τυλιγμένος στο σκοτάδι, ήταν επόμενο να πάρει το όνομα του θεού του Κάτω Κόσμου. Πλούτωνας είναι το σύγχρονο όνομα του Άδη. Και ο μοναδικός του δορυφόρος ήταν φυσικό να ονομαστεί Χάροντας.

Πίνακας 3.55: Οι μεγαλύτεροι δορυφόροι του Ουρανού.

	Ακτίνα (Km)	Μάζα (Kg)	Απόσταση (Km)	Ανακάλυψη
Cordelia	13	;	49.750	Βόγιατζερ 2, 1986
Ophelia	16	;	53.760	Βόγιατζερ 2, 1986
Bianca	22	;	59.160	Βόγιατζερ 2, 1986
Cressida	33	;	61.770	Βόγιατζερ 2, 1986
Desdemona	29	;	62.660	Βόγιατζερ 2, 1986
Juliet	42	;	64.360	Βόγιατζερ 2, 1986
Portia	55	;	66.100	Βόγιατζερ 2, 1986
Rosalind	27	;	69.930	Βόγιατζερ 2, 1986
Belinda	34	;	75.260	Βόγιατζερ 2, 1986
Puck	77	;	86.010	Βόγιατζερ 2, 1986
Miranda	235,8	$6,33 \times 10^{19}$	129.780	G. Kuiper, 1948
Ariel	578,9	$1,27 \times 10^{21}$	191.240	W. Lassell, 1851
Umbriel	584,7	$1,27 \times 10^{21}$	265.970	W. Lassell, 1851
Titania	788,9	$3,49 \times 10^{21}$	435.840	W. Herschel, 1787
Oberon	761,4	$3,03 \times 10^{21}$	582.600	W. Herschel, 1787

Πίνακας 3.56: Οι μεγαλύτεροι δορυφόροι του Κρόνου.

	Ακτίνα (Km)	Μάζα (Kg)	Απόσταση (Km)	Ανακάλυψη
Pan	9.655	;	133.583	M.Showalter, 1990
Atlas	20X15	;	137.640	R. Terrile, 1980
Prometheus	72,5X42,5X32,5	$2,7 \times 10^{17}$	139.350	S. Collins, 1980
Pandora	57X42X31	$2,2 \times 10^{17}$	141.700	S. Collins, 1980
Epimetheus	72X54X49	$5,6 \times 10^{17}$	151.422	R. Walker, 1966
Janus	98X96X75	$2,01 \times 10^{18}$	151.472	A. Dollfus, 1966
Mimas	196	$3,80 \times 10^{19}$	185.520	W. Herschel, 1789
Enceladus	250	$8,40 \times 10^{19}$	238.020	W. Herschel, 1789
Tethys	530	$7,55 \times 10^{20}$	294.660	G. Cassini, 1684
Telesto	17X14X13	;	294.660	B. Smith, 1980
Calypso	17X11X11	;	294.660	B. Smith, 1980
Dione	560	$1,05 \times 10^{21}$	377.400	G. Cassini, 1684
Helene	18X16X15	;	377.400	Laques-Lecacheux, 1980
Rhea	765	$2,49 \times 10^{21}$	527.040	G. Cassini, 1672
Titan	2,575	$1,35 \times 10^{23}$	1.221.850	C. Huygens, 1655
Hyperion	205X130X110	$1,77 \times 10^{19}$	1.481.000	W. Bond, 1848
Iapetus	730	$1,88 \times 10^{21}$	3.561.300	G. Cassini, 1671
Phoebe	110	$4,0 \times 10^{18}$	12.952.000	W. Pickering, 1898

Πίνακας 3.57: Οι δορυφόροι του Δία.

	Ακτίνα (Km)	Μάζα (Kg)	Απόσταση (Km)	Ανακάλυψη
Metis	20	$9,56 \times 10^{16}$	127.969	S. Synnott, 1979
Adrastea	12,5X10X7,5	$1,91 \times 10^{16}$	128.971	Jewitt-Danielson, 1979
Amalthea	135X84X75	$7,17 \times 10^{18}$	181.300	E. Brnard, 1892
Thebe	55X45	$7,77 \times 10^{17}$	221.895	S. Synnott, 1979
Io	1,815	$8,94 \times 10^{22}$	421.600	Marius-Galileo, 1610
Europa	1,569	$4,80 \times 10^{22}$	670.900	Marius-Galileo, 1610
Ganymede	2,631	$1,48 \times 10^{23}$	1.070.000	Marius-Galileo, 1610
Callisto	2,400	$1,08 \times 10^{23}$	1.883.000	Marius-Galileo, 1610
Leda	8	$5,68 \times 10^{10}$	11.094.000	C. Kowal, 1974
Himalia	93	$9,56 \times 10^{18}$	11.480.000	C. Perrine, 1904
Lysithea	18	$7,77 \times 10^{16}$	11.720,000	S. Nicholson, 1938
Elara	38	$7,77 \times 10^{17}$	11.737.000	C. Perrine, 1905
Ananke	15	$3,82 \times 10^{16}$	21.200.000	S. Nicholson, 1951
Carme	20	$9,56 \times 10^{16}$	22.600.000	S. Nicholson, 1938
Pasiphae	25	$1,91 \times 10^{17}$	23.500.000	P. Melotte, 1908
Sinope	18	$7,77 \times 10^{16}$	23.700.000	S. Nicholson, 1914

κνώνεται και να καλύπτει τους πόλους του κατά τη διάρκεια του μεγάλου του χειμώνα.

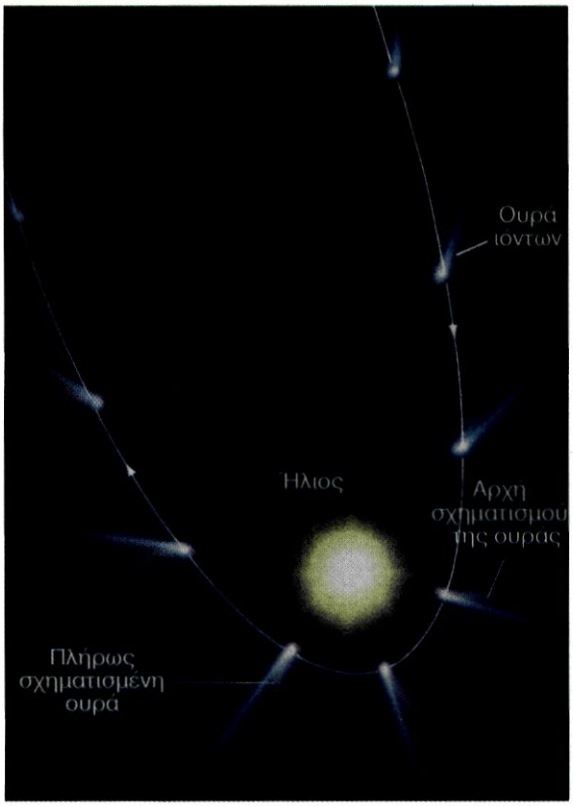
Η μελέτη του πλανήτη δείχνει ότι η **επιφάνειά** του καλύπτεται από πάγο μεθανίου και πιθανόν να αποτελείται από βραχώδη υλικά. Έχει ένα δορυφόρο, το Χάροντα, ο οποίος ανακαλύφτηκε το 1978 από τον J. Christy.

3.7 ΚΟΜΗΤΕΣ ΜΕΤΕΩΡΑ ΚΑΙ ΜΕΣΟΠΛΑΝΗΤΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ

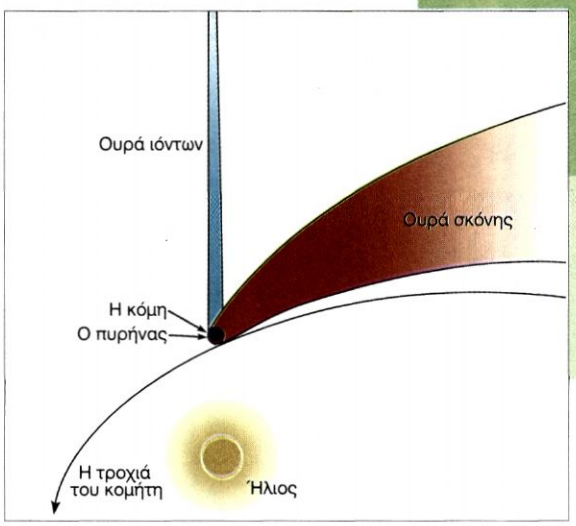
ΟΙ ΚΟΜΗΤΕΣ

Οι κομήτες είναι μικρά ακανόνιστα ουράνια σώματα, από τα οποία άλλα περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο σε ελλειπτικές τροχιές και άλλα περνούν μια φορά κοντά απ' αυτόν και εξαφανίζονται στο διάστημα. Οι κομήτες που περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο ονομάζονται **περιοδικοί.** Οι τροχιές τους είναι ελλειπτικές, με περιήλιο κοντά στην τροχιά της Γης και αφήλιο πολύ μακριά στο διάστημα, πέρα από τον Πλούτωνα.

Όσο πλησιάζουν προς τον Ήλιο αρχίζουν να είναι



Σχήμα 3.58: Η ελλειπτική τροχιά ενός κομήτη και η μεταβολή του σχήματός του καθώς πλησιάζει τον Ήλιο.



Σχήμα 3.59: Η ουρά σκόνης αποτελείται από μικρά αιωρούμενα σωματίδια που προέρχονται από τον πυρήνα και εκτείνεται και μέχρι 10 εκατομμύρια χιλιόμετρα. Η ουρά των ιόντων αποτελείται από πλάσμα και φτάνει μέχρι και 100 εκατομμύρια χιλιόμετρα.

ορατοί με το τηλεσκόπιο. Στην αρχή εμφανίζονται ως μικρά ουράνια σώματα. Όσο πλησιάζουν προς τον Ήλιο εξαχνώνονται, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας τους, και αποκτούν ένα αεριώδες περίβλημα, την **κόμη.** Η κόμη τις περισσότερες φορές επεκτείνεται και σχηματίζει την **ουρά** του κομήτη, που κατευθύνεται πάντοτε αντίθετα από τον Ήλιο.

Η κόμη περιβάλλει τον **πυρήνα** των κομητών και αποτελεί το κύριο μέρος τους. Ο πυρήνας τους, που η διάμετρός του φτάνει μέχρι και το 1/3 της διαμέτρου της Γης, αποτελείται κυρίως από αέρια, σκόνη και άλλα στερεά υλικά σε μορφή πάγου (εικ. 3.59, 3.60).

Η κόμη τους αποτελείται από νέφη νερού, διοξείδιο του άνθρακα και διάφορα άλλα αέρια τα οποία προκύπτουν από την εξάχνωση του πυρήνα. Η ουρά τους αποτελείται συνήθως από δύο μέρη. Το ένα μέρος αποτελείται από σκόνη και το άλλο από ιόντα (πλάσμα).

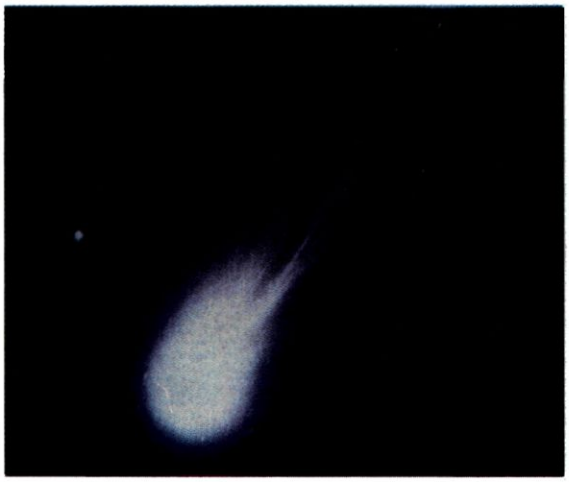
Σχετικά με την προέλευση των κομητών η επικρατέστερη θεωρία είναι αυτή του Ολλανδού αστρονόμου

Οι αρχαίοι Έλληνες, όταν έβλεπαν τους κομήτες στον ουρανό, ένιωθαν φόβο, γιατί τους θεωρούσαν κακούς οιωνούς που προμηνούσαν συμφορές.

Το 1195 π.Χ. είδαν έναν κομήτη κοντά στις Πλειάδες. Τον θεώρησαν προάγγελο της καταστροφής της Τροίας.

Το 480 π.Χ. εμφανίστηκε ένας άλλος πάνω από τη Σαλαμίνα, αλλά, παρά το φόβο τους, νίκησαν τους Πέρσες.

Ο Πλούταρχος αναφέρει τον κομήτη που εμφανίστηκε το 44 π.Χ. στον αστερισμό της Μεγάλης Άρκτου τις ημέρες που δολοφονήθηκε ο Ιούλιος Καίσαρ.



Εικόνα 3.60: Ο κομήτης West το Μάρτιο 1976

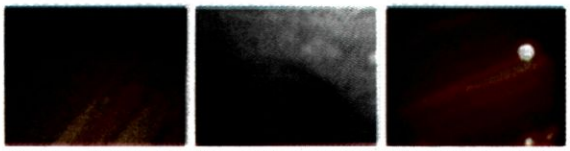
Οόρτ. Σύμφωνα με αυτή, οι κομήτες είναι μέλη του ηλιακού μας συστήματος που δημιουργήθηκαν μαζί με αυτό και κινούνται σε τροχιές πέρα από τον Πλούτωνα. Το πλήθος τους είναι τεράστιο, περίπου 100 δισεκατομμύρια. Οι αποστάσεις τους από τον Ήλιο είναι τόσο μεγάλες, ώστε οι θερμοκρασίες τους είναι κοντά στο απόλυτο μηδέν (-273 C). Όταν μερικοί απ' αυτούς πλησιάσουν τους εξωτερικούς πλανήτες, κυρίως το Δία και τον Κρόνο, οι τροχιές τους μεταβάλλονται και είναι δυνατό να κινηθούν έτσι, ώστε να πλησιάσουν τον Ήλιο. Γίνονται ορατοί, όταν πλησιάσουν τον Ήλιο σε απόσταση περίπου 1 A.U.

Κάθε κομήτης παίρνει το όνομα αυτού που θα τον παρατηρήσει πρώτος. Ο πιο ονομαστός είναι ο κομήτης του Χάλεϋ, γνωστός από το 240 π.Χ., και ο οποίος αναστάτωσε τη Γη το 1910, όταν πέρασε πολύ κοντά της. Το 1986, όταν ξαναπέρασε κοντά από την Γη, εξερευνήθηκε από διαστημόπλοια που εκτοξεύθηκαν γι' αυτό το σκοπό.

Ένα φαντασμαγορικό και σπάνιο θέαμα παρακολούθησαν οι επιστήμονες στο διάστημα 16-22 Ιουλίου 1994, όταν ο κομήτης Shoemaker-Levy 9 συγκρούστηκε με το Δία (εικ. 3.61). Τουλάχιστον 20 μεγάλα κομμάτια του συγκρούστηκαν με τον πλανήτη με ταχύτητες που ξεπερνούσαν τα 60 Km/sec.

Στοιχεία του κομήτη του Χάλεϋ	
Απόσταση περιηλίου	0,587 A.U.
Εκκεντρότητα τροχιάς	0,967
Περίοδος περιφοράς	76 έτη
Έτος επόμενου περιηλίου	2061
Διαστάσεις πυρήνα	16 X 8 X 8 Km

Πλάσμα: Κατάσταση της ύλης. Στην κατάσταση του πλάσματος η ύλη αποτελείται από ιόντα και ηλεκτρόνια που κινούνται ελεύθερα, όπως τα μόρια σε ένα αέριο. Πλήρης ιονισμός της ύλης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες ή από την αλληλεπίδρασή της με ακτινοβολίες υψηλών συχνοτήτων.



Εικόνα 3.61: Ο Δίας μετά τη σύγκρουση με τον κομήτη Shoemaker-Levy 9. Η σύγκρουση δημιούργησε στην ατμόσφαιρα του πλανήτη θύσανους καπνού ύψους εκατοντάδων χιλιομέτρων και άφησε καυτές «φούσκες» από αέρια και μεγάλες σκοτεινές «ουλές» που κράτησαν αρκετούς μήνες. Το μεγαλύτερο κομμάτι είχε διάμετρο περίπου 2 χιλιόμετρα.

ΜΕΤΕΩΡΑ - ΜΕΤΕΩΡΙΤΕΣ

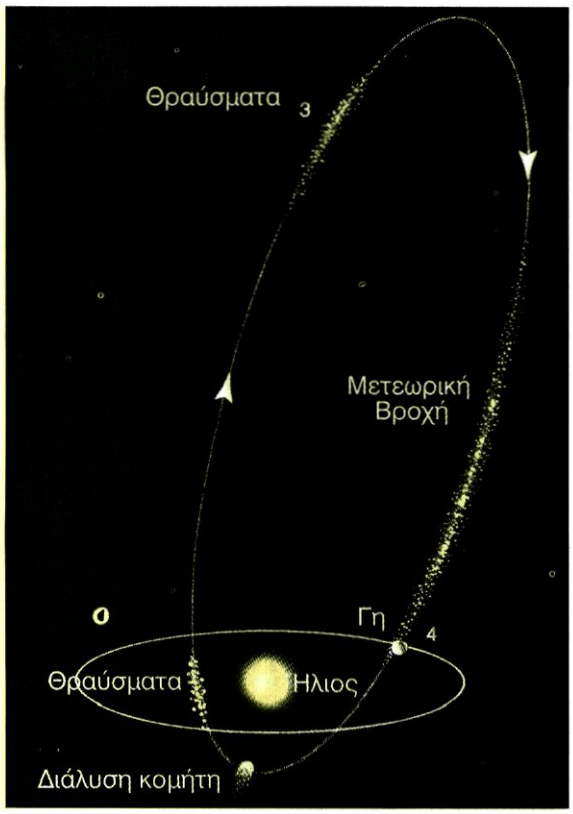
Πολλές φορές τις ασέληνες και χωρίς σύννεφα νύχτες είμαστε μάρτυρες ενός φαινομένου, κατά το οποίο ένα φωτεινό ουράνιο σώμα διατρέχει γρήγορα τον ουρανό και χάνεται μέσα σε δευτερόλεπτα.

Είναι τα γνωστά «αστέρια που πέφτουν». Πρόκειται για αντικείμενα μικρών διαστάσεων που περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο και που, όταν πλησιάσουν κοντά στη Γη, έλκονται από αυτή. Τότε συγκρούονται με την ατμόσφαιρά της, υπερθερμαίνονται, λιώνουν και εξαερώνονται.

Τα αντικείμενα αυτά ονομάζονται **μετέωρα** και διαιρούνται σε δύο κατηγορίες, στους **διάττοντες** αστέρες, που έχουν μικρή σχετικά μάζα και λαμπρότητα, και στις **βολίδες,** που είναι μεγαλύτερα, εντυπωσιακότερα και πιο σπάνια φαινόμενα.

Όταν αυτά είναι αρκετά μεγάλα, δεν εξαερώνονται εντελώς και φτάνουν στη Γη προκαλώντας κρατήρες. Αυτά τα αντικείμενα ονομάζονται **μετεωρίτες.**

Τα **μετέωρα** εμφανίζονται είτε σποραδικά είτε με τη μορφή βροχής, που είναι γνωστή ως **βροχή μετεώρων.** Η βροχή αυτή προέρχεται από ένα μετεωρικό ρεύμα το οποίο περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο και δημιουργείται από την αποσύνθεση κάποιου κομήτη. Οι βροχές αυτές παίρνουν το όνομα του αστερισμού ο οποίος βρίσκεται στην περιοχή του ουρανού στην οποία εκδηλώνονται. Έτσι έχουμε τους Περσείδες, τους Ωριονίδες κτλ. Κάθε 33 χρόνια η Γη διέρχεται από μια



Σχήμα 3.62: Μετεωρικό ρεύμα.

περιοχή πυκνή σε μετεωρίτες, η οποία προκαλεί μετεωρική βροχή, τις γνωστές Λεοντίδες. Η τελευταία τέτοιου είδους βροχή έγινε το Νοέμβριο του 1998.

Οι **μετεωρίτες** έχουν μεγάλη μάζα η οποία δεν προλαβαίνει κατά την είσοδο της στην ατμόσφαιρα να καεί. Έτσι ό,τι απομένει φτάνει στην επιφάνεια και δημιουργεί κρατήρες. Η πτώση τους συνοδεύεται από λάμψη και δυνατό κρότο. Με τον τρόπο αυτό έχει σχηματιστεί και ο γνωστός κρατήρας της Αριζόνα.

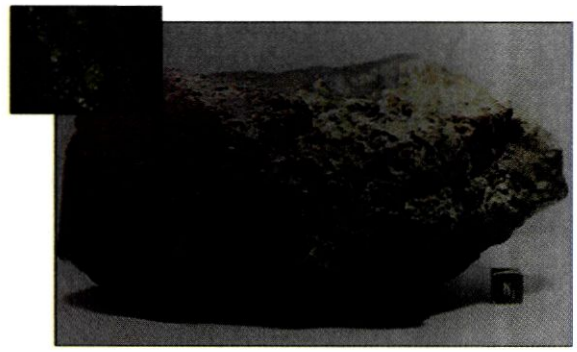
Ο ΜΕΣΟΠΛΑΝΗΤΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ

Η εξερεύνηση του διαστημικού χώρου μεταξύ των πλανητών με σύγχρονα μέσα και κυρίως με διαστημόπλοια έδειξε ότι ο χώρος αυτός δεν είναι κενός. Περιέχει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, πλάσμα (ηλεκτρόνια, πρωτόνια και άλλα ιόντα), κοσμικές ακτίνες, μικροσκοπικά σωματίδια σκόνης και μαγνητικό πεδίο που προέρχεται κυρίως από τον Ήλιο.

Η **πυκνότητα** του είναι περίπου 5 σωματίδια /cm^3 κοντά στη Γη και ελαττώνεται αντίστροφα της απόστασης από τον Ήλιο. Ωστόσο, αυτή έχει μεγάλες μεταβολές και μπορεί να φτάσει μέχρι και 100 σωματίδια /cm^3 .

Ο μετεωρίτης ALH84001 πιστεύεται ότι προέρχεται από την επιφάνεια του Άρη. Δημιουργήθηκε από θραύσμα, όταν στην επιφάνεια του Άρη προσέκρουσε με μεγάλη δύναμη άλλος μετεωρίτης και εκτίναξε κομμάτια της επιφανείας του. Η πρόσκρουση αυτή πιθανολογείται ότι έγινε πριν 16 εκατομμύρια χρόνια. Ο μετεωρίτης αυτός περιέχει απολιθώματα, τα οποία πιθανώς να αποδεικνύουν την ύπαρξη αρχέγονης ζωής στον Άρη. Το γεγονός αυτό δικαιολογεί το μεγάλο ενδιαφέρον των επιστημόνων για τους μετεωρίτες, αφού μεταφέρουν πληροφορίες από το διάστημα.

Σε ασέληνες και σκοτεινές νύχτες ένας καλός παρατηρητής θα διακρίνει εύκολα ένα αμυδρό φως να εμφανίζεται, κατά την άνοιξη μετά τη δύση του Ηλίου στο δυτικό ουρανό και κατά το φθινόπωρο πριν από την ανατολή του Ηλίου στον ανατολικό ουρανό. Το φως αυτό ονομάζεται **ζωδιακό φως** και οφείλεται στη διάχυση των ηλιακών ακτίνων στη μεσοπλανητική σκόνη. Ένα αντίστοιχο, αλλά αμυδρότερο φως, παρατηρείται στην αντίθετη με τον Ήλιο θέση. Ονομάζεται **αντιζωδιακό φως** και οφείλεται στον ίδιο λόγο.



Εικόνα 3.63: Ο μετεωρίτης ALH84001. Έχει ηλικία 4,5 εκατομμυρίων χρόνων και έπεσε στην Ανταρτική πριν 13.000 χρόνια.

Εικόνα 3.64: Ο κρατήρας της Αριζόνα με διάμετρο 1,2 Km και βάθος 0,2 Km, ο οποίος δημιουργήθηκε πριν 25.000 χρόνια από πρόσκρουση μετεωρίτη. Ο μετεωρίτης υπολογίζεται ότι είχε μήκος 50 μέτρα και ζύγιζε περίπου 200.000 τόνους.

3.8 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που είχαν και εξακολουθούν να έχουν οι επιστήμονες είναι αυτό της προέλευσης του ηλιακού μας συστήματος. Ερωτήματα, όπως

πώς δημιουργήθηκε το ηλιακό σύστημα,

πότε δημιουργήθηκε,

ποια ήταν η αρχική, η πρώτη ύλη,

είναι πολύ σημαντικά για την επιστημονική έρευνα.

Οι πρώτες συστηματικές θεωρίες, πέρα από το μύθο και τις δοξασίες, για τη δημιουργία του ηλιακού συστήματος εμφανίζονται το 18ο αιώνα κυρίως, με τις θεωρίες του Καντ και του Λαπλάς.

Ο Γερμανός φιλόσοφος Εμμάνουελ Καντ το 1755 πρότεινε για πρώτη φορά τη θεωρία ότι οι πλανήτες προέκυψαν από τη συμπύκνωση ενός τεράστιου νέφους αερίων και σκόνης. Στη συνέχεια και άλλοι επιστήμονες, όπως ο Λαπλάς (Laplace), ο Κόιπερ (Kuiper) και ο Χόιλ (Hoyle) επέκτειναν και συμπλήρωσαν τη θεωρία αυτή, γνωστή και ως **νεφελική θεωρία.** Σήμερα η θεωρία αυτή με αρκετές βελτιώσεις αποτελεί τη θεωρία της **νεφελικής συμπύκνωσης.**

Εικόνα 3.65: Στις 28 Μαΐου 1998 το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble φωτογράφισε στον αστερισμό του Ταύρου, το εικονιζόμενο νεφέλωμα. Στο κέντρο του παρατηρείται ένα διπλό σύστημα πρωτοαστέρων (Ηλίων) με όνομα TMR-1 και γύρω του απλώνεται νέφος από αέρια και σκόνη. Στο άκρο του μεγάλου νήματος, μήκους περίπου 200 δισεκατομμυρίων χιλιομέτρων διακρίνεται ένα συμπύκνωμα, που πιθανόν να είναι ένας νέος πλανήτης. Απόσταση από τη Γη 450 έτη φωτός.

Για τους αρχαίους λαούς και κυρίως για τους αρχαίους Έλληνες το πρόβλημα της προέλευσης του κόσμου είναι στενά συνδεδεμένο με όσα παρατηρούσαν να διαδραματίζονται στον ξάστερο ουρανό. Το ερώτημα πώς δημιουργήθηκε ο Κόσμος και πώς οι θεοί τον κυβερνούν ήταν εναγώνιο και ζωτικής σημασίας για όλους τους αρχαίους λαούς. Γι' αυτό στους μύθους και στις παραδόσεις τους, συναντάμε πολλές αναφορές για το σχετικό ζήτημα. Από την αρχαία Ελλάδα τέτοιου είδους αναφορές έχουν διασωθεί στη Θεογονία του Ησίοδου, στα ποιήματα του Ομήρου και στους Ύμνους του Ορφέα, τα Ορφικά.

Οι ύμνοι του Ορφέα, γιού του βασιλιά της Θράκης Οιάγρου, αναφέρονται στη θεογονία και στην κοσμογονία: «Ο κόσμος γεννήθηκε από την νύκτα, μέσα στο χάος και στο σκότος υπήρχε ο Αιθέρας. Από αυτόν δημιουργήθηκε ο Χρόνος, το κοσμικό αυγό, απ' το οποίο εκκολάπτεται ο Φάνης, πρώτη μορφή του Διονύσου, που δημιουργεί τα πάντα, Ουρανό, Γη, Ήλιο, Σελήνη, αστέρες. Η Νύκτα με τον Φάνη, γεννά τους Τιτάνες απ' τους οποίους έλκει το γένος ο Ζευς...»

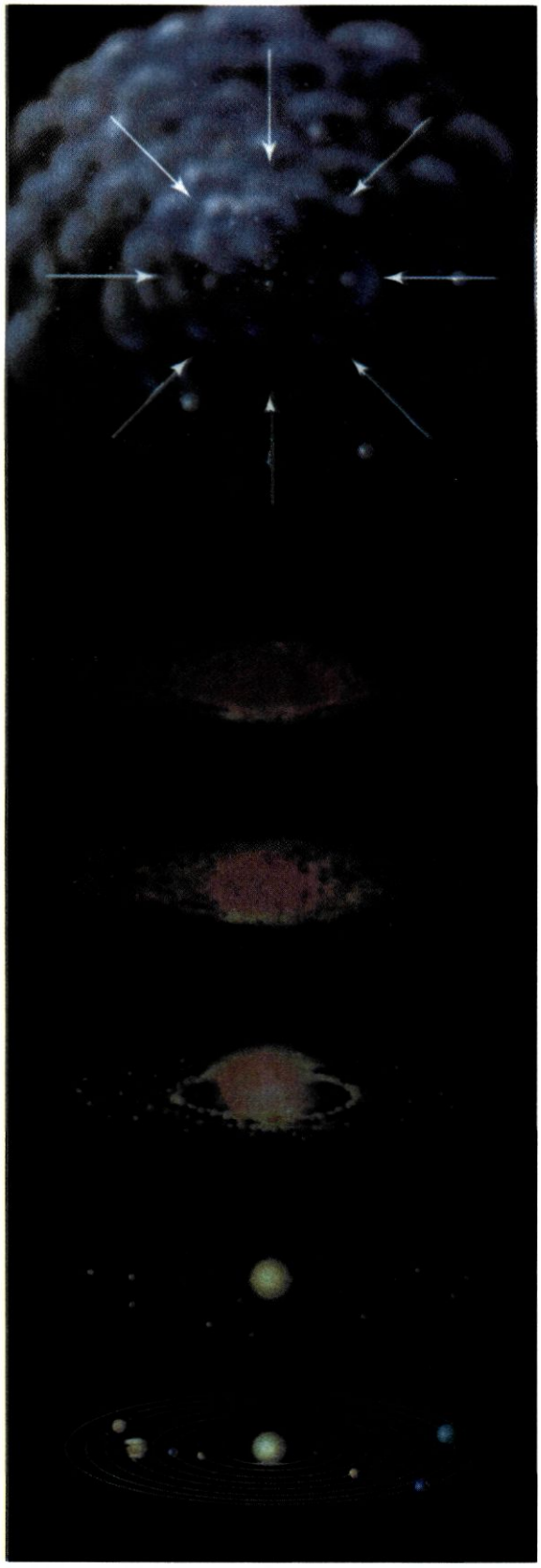
Οι σύγχρονες παραδόσεις των λαών και ιδιαίτερα των πρωτόγονων περιέχουν άφθονα κοσμογονικά στοιχεία.

Σύμφωνα με τη θεωρία της νεφελικής συμπύκνωσης, το αρχικό νέφος συμπυκνώθηκε και συρρικνώθηκε με αργό ρυθμό κάτω από την επίδραση της βαρύτητάς του, ενώ ταυτόχρονα άρχισε να περιστρέφεται.

Όσο οι περιοχές του αρχικού νέφους κατέρρεαν, λόγω της βαρύτητας, τόσο αυξανόταν η ταχύτητα περιστροφής τους. Το αποτέλεσμα της περιστροφής και της βαρυτικής κατάρρευσης ήταν το νέφος να αποκτήσει τη μορφή ενός πεπλατυσμένου δίσκου. Στο κέντρο του δίσκου σχηματίστηκε ένας πρωτοαστέρας από τον οποίο προήλθε ο Ήλιος. Στα εξωτερικά στρώματα του δίσκου δημιουργήθηκαν περιοχές με πιο συμπυκνωμένη ύλη από τις οποίες σχηματίστηκαν οι πρωτοπλανήτες και τελικά οι πλανήτες. Τα κομμάτια που απέμειναν αποτέλεσαν τους αστεροειδείς και τους κομήτες. Με ανάλογο τρόπο σχηματίστηκαν και οι δορυφόροι των πλανητών.

Η θεωρία αυτή τα τελευταία χρόνια τείνει να γίνει αποδεκτή, αφού οι επιστήμονες με τα σύγχρονα μέσα που διαθέτουν πλέον κατάφεραν να εντοπίσουν τέτοιου είδους πλανητικούς δίσκους πέρα από το ηλιακό μας σύστημα (εικ. 3.65).

Παράλληλα, με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών κατάφεραν να κατασκευάσουν μοντέλα προσομοίωσης αυτού του φαινομένου και να μελετήσουν τον τρόπο συμπύκνωσης και σχηματισμού των πλανητών και των δορυφόρων τους (σχ. 3.66).



Σχήμα 3.66: Η νεφελική θεωρία για τη δημιουργία του ηλιακού συστήματος: Συμπύκνωση και κατάρρευση των εξωτερικών περιοχών, Συρρίκνωση, Ανάπτυξη φυγόκεντρης δύναμης, Δημιουργία πεπλατυσμένου δίσκου.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Οι πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος **κινούνται** γύρω από τον Ήλιο κατά την αντίθετη φορά των δεικτών του ρολογιού σε ελλειπτικές τροχιές. Η τροχιά του Ερμή και αυτή του Πλούτωνα παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη εκκεντρότητα. Οι αποστάσεις μεταξύ των πλανητών δεν είναι σταθερές, αλλά αυξάνονται καθώς απομακρυνόμαστε από τον Ήλιο.
- Μεταξύ των πλανητών οι Ερμής, Αφροδίτη, Γη και Άρης, δηλαδή οι καλούμενοι γήινοι, έχουν περίπου την ίδια **πυκνότητα** και γενικά είναι βραχώδεις. Αντίθετα, οι Δίας, Κρόνος, Ουρανός και Ποσειδώνας, οι επονομαζόμενοι δίιοι, έχουν πολύ μικρότερη πυκνότητα και αποτελούνται κυρίως από αέριο ή υγροποιημένο υδρογόνο και ήλιο.
- Σχετικά με το **μέγεθος** των πλανητών και όσον αφορά τους γήινους πλανήτες, ο Ερμής είναι σχεδόν όμοιος με τη Σελήνη. Η Αφροδίτη έχει μάζα και ακτίνα όση και η Γη, ενώ ο Άρης είναι μικρότερος από αυτή. Οι δίιοι πλανήτες χαρακτηρίζονται από την τεράστια μάζα και ακτίνα τους σε σχέση με τη Γη.
- Από τους γήινους πλανήτες ο Ερμής δεν έχει **ατμόσφαιρα.** Η ατμόσφαιρα των υπόλοιπων γήινων πλανητών, δηλαδή της Αφροδίτης και του Άρη, αποτελείται κυρίως από διοξείδιο του άνθρακα. Η ατμόσφαιρα της Αφροδίτης είναι εξαιρετικά θερμή και είναι 90 φορές πιο πυκνή από αυτή της Γης. Αντίθετα, η κρύα ατμόσφαιρα του Άρη είναι μόνο το 0,7% της πυκνότητας της Γης. Η ατμόσφαιρα των δίιων πλανητών, όσο βυθιζόμαστε προς το εσωτερικό της, γίνεται θερμότερη και πυκνότερη και τελικά εμφανίζεται υγροποιημένη. Η κόκκινη κηλίδα στο Δία και η σκοτεινή κηλίδα στον Ποσειδώνα δηλώνουν ότι στην ατμόσφαιρά τους εκδηλώνονται τεράστιες καταιγίδες.
- Η **επιφάνεια** των πλανητών παρουσιάζει αρκετές διαφορές. Η επιφάνεια των γήινων πλανητών έχει πολλούς κρατήρες και ηφαίστεια. Η επιφάνεια του Άρη, για παράδειγμα, έχει τεράστια μη ενεργά ηφαίστεια και ίχνη ύπαρξης νερού κατά το παρελθόν. Οι δίιοι πλανήτες δεν έχουν στερεά επιφάνεια.
- Το **εσωτερικό** των γήινων πλανητών παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες. Όλοι έχουν θερμό και σε τήξη πυρήνα, ο οποίος περιβάλλεται από εκτεταμένο μαν-

δύα. Αυτός καταλήγει στο στερεό φλοιό, που αποτελεί και την επιφάνεια των πλανητών. Η στερεά μάζα των δίιων πλανητών είναι συνήθως μία τεράστια μάζα από πάγο και πετρώματα πλούσια σε άνθρακα, και αποτελεί το εσωτερικό αυτών των πλανητών.

- Οι γήινοι πλανήτες, εκτός από τη Γη, έχουν πολύ ασθενές **μαγνητικό πεδίο.** Αντίθετα, οι δίιοι πλανήτες και κυρίως ο Δίας έχουν ισχυρότατο μαγνητικό πεδίο.
- Ο Ερμής και η Αφροδίτη δεν έχουν **δορυφόρους.** Η Γη και ο Πλούτωνας έχουν από ένα μόνο, τη Σελήνη και το Χάροντα αντίστοιχα. Ο Άρης έχει δύο. Οι δίιοι πλανήτες έχουν πολύ περισσότερους. Ο Δίας 16, ο Κρόνος 22, ο Ουρανός 17 και ο Ποσειδώνας 8. Οι δίιοι πλανήτες, εκτός από τους δορυφόρους, περιβάλλονται και από σύστημα **δακτυλίων.**
- Ο Πλούτωνας μοιάζει περισσότερο με τους γήινους πλανήτες στα πιο πολλά χαρακτηριστικά του.
- Οι αστεροειδείς, οι κομήτες, τα μετέωρα και οι μετεωρίτες συμπληρώνουν μαζί με τη μεσοπλανητική ύλη το ηλιακό σύστημα.
- Το ηλιακό σύστημα δημιουργήθηκε από τη βαρυτική κατάρρευση, συμπύκνωση και περιστροφή ενός γιγαντιαίου αρχικού νέφους αερίων και σκόνης.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Περιγράψτε τρεις διαφορές μεταξύ των γήινων και δίιων πλανητών.
2. Να εξηγήσετε πώς η Σελήνη προκαλεί παλίρροιες στους ωκεανούς της Γης.
3. Γιατί η Αφροδίτη φαίνεται στο νυχτερινό ουρανό τόσο λαμπερή;
4. Να αναφέρετε δύο χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας της Αφροδίτης που κάνουν τον πλανήτη ακατάλληλο για τη γήινη ζωή.
5. Γιατί ο Άρης είναι κόκκινος;
6. Να συγκρίνετε την ατμόσφαιρα του Άρη, της Γης και της Αφροδίτης.
7. Πιστεύετε ότι είναι λογικός στόχος να αποσταλούν άνθρωποι στον Άρη στο εγγύς μέλλον; Ναι ή όχι και γιατί;
8. Πώς ανακαλύφθηκε ο Ουρανός;
9. Πώς ανακαλύφθηκε ο Πλούτωνας;
10. Ποια μορφή έχουν οι κομήτες, όταν βρίσκονται μακριά από τον Ήλιο; Τι συμβαίνει, όταν εισέλθουν στο εσωτερικό του ηλιακού συστήματος;
11. Να ονομάσετε τα διάφορα μέρη από τα οποία αποτελείται ένας κομήτης.
12. Να εξηγήσετε τη διαφορά μεταξύ μετεώρου και μετεωρίτη.
13. Ποια είναι προέλευση του ηλιακού συστήματος;
14. Γιατί είναι σημαντική η μελέτη των μικρών σωμάτων του ηλιακού συστήματος;

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Πόσο χρόνο χρειάζεται το σήμα ραντάρ να ταξιδέψει από τη Γη στον Ερμή και να επιστρέψει πίσω, όταν βρίσκονται στην ελάχιστη μεταξύ τους απόσταση;
2. Η ατμόσφαιρα της Αφροδίτης έχει πάχος περίπου 50 Km και ομοιόμορφη πυκνότητα 21 Kg/m^3. Υπολογίστε τη συνολική της μάζα.
3. Πόσο χρόνο χρειάζεται ένα διαστημόπλοιο να κάνει το ταξίδι Γη - Δίας με επιστροφή, όταν κινείται με ταχύτητα 20 Km/s;
4. Υποθέστε ότι η μέση μάζα καθενός από τους 6.000 αστεροειδείς είναι 1.017 Kg. Συγκρίνετε τη συνολική τους μάζα με τη μάζα της Γης.

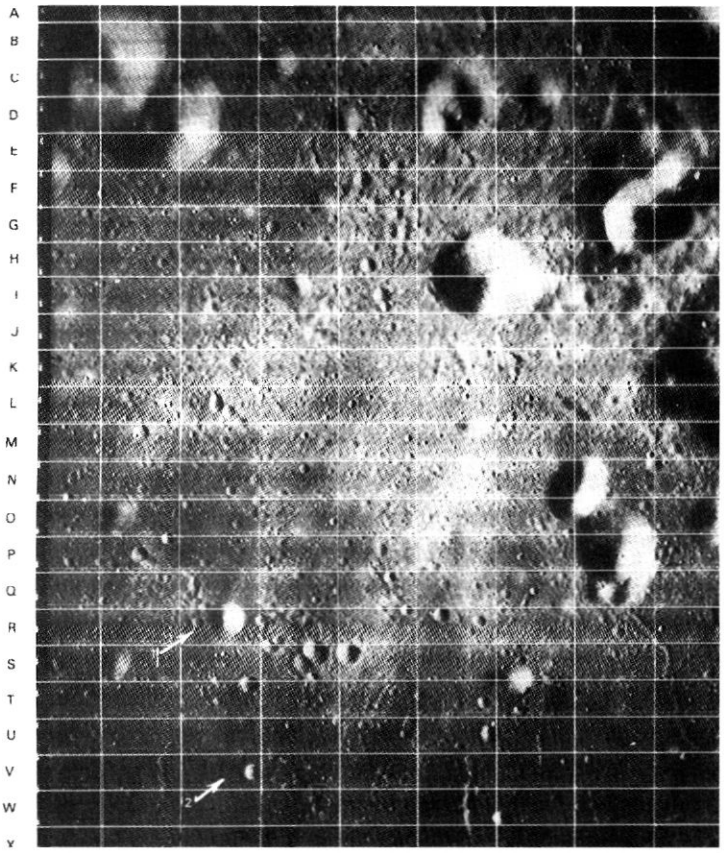
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Λεπτομέρειες από την επιφάνεια της Σελήνης

Μετά το τέλος της δραστηριότητας αυτής θα μπορείτε να διαβάζετε τους χάρτες της Σελήνης, να αναγνωρίζετε και να αξιολογείτε τα διάφορα χαρακτηριστικά τους.

Η φωτογραφία που ακολουθεί δείχνει μία περιοχή της Σελήνης 30 έως 40 Km που βρίσκεται στο σελληνιακό ισημερινό. Οι μικρότεροι κρατήρες που φαίνονται έχουν διάμετρο 30 m.

1. Παρατηρώντας προσεκτικά τη φωτογραφία προσπαθήστε να καταλάβετε αν τα αριθμημένα σημεία με



τους αριθμούς 1 ή 2 είναι υπερυψωμένα ή όχι, δικαιολογώντας την άποψή σας. Από ποια πλευρά πέφτει το ηλιακό φως;

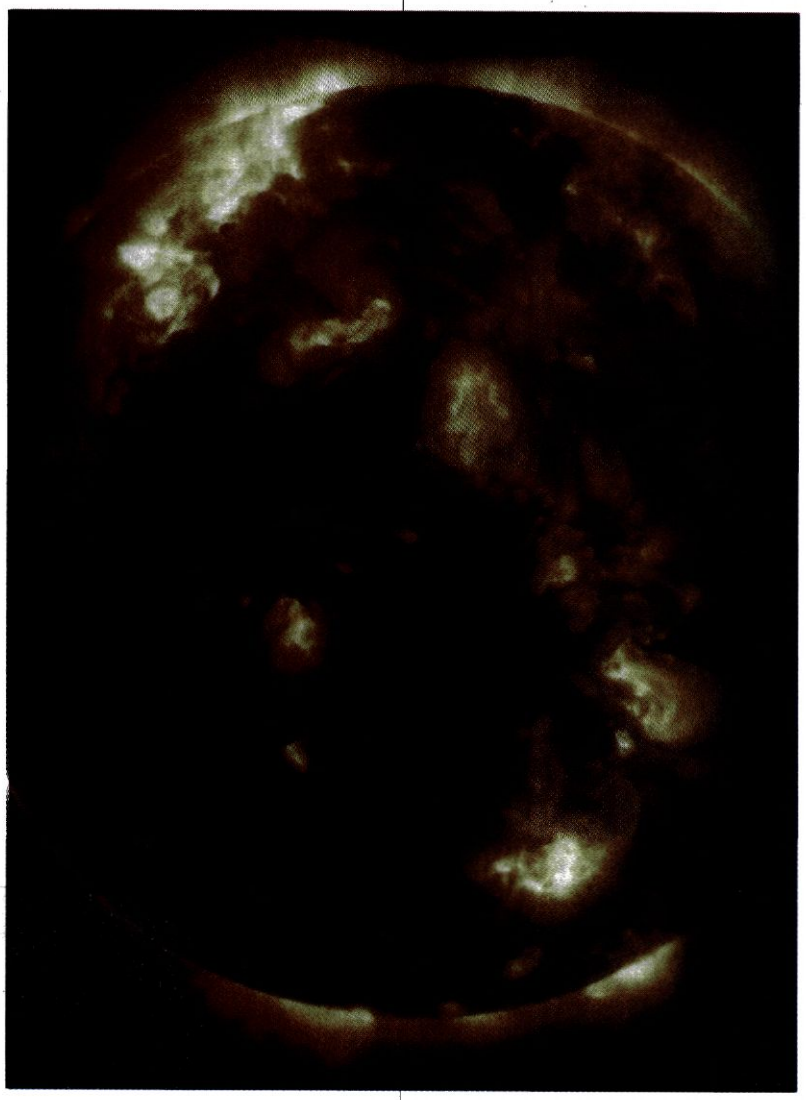
2. Στη φωτογραφία επίσης είναι εμφανή κάποια χαρακτηριστικά της Σελήνης, όπως κρατήρες και όρη. Βρείτε το είδος καθενός απ' αυτά και προσδιορίστε τις συντεταγμένες του (π.χ. Η-6).

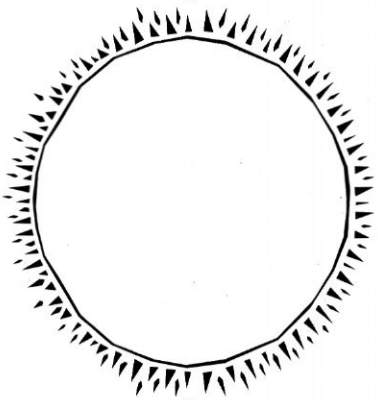
2. Δημιουργία μοντέλου του ηλιακού συστήματος

Χρησιμοποιήστε τους πίνακες των φυσικών χαρακτηριστικών των πλανητών και κατασκευάστε ένα μοντέλο του ηλιακού συστήματος. Για να υπάρχει αναλογία στο μέγεθος των πλανητών καθώς και στις αποστάσεις τους από τον Ήλιο, αλλά και μεταξύ τους, κατασκευάστε το μοντέλο, αφού πρώτα επιλέξετε συγκεκριμένη κλίμακα. Για παράδειγμα, συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα και κατασκευάστε ένα μοντέλο του ηλιακού συστήματος.

	Μέση πραγματική απόσταση από τον Ήλιο σε A.U.	**Μέση απόσταση στο μοντέλο**	**Διάμετρος σε Km**	**Διάμετρος στο μοντέλο σε mm**
Ήλιος			1.392.000	1 m
Ερμής				
Αφροδίτη				
Γη	1,0	66 cm	12,8	9,2 mm
Άρης				
Δίας				
Κρόνος				
Ουρανός				
Ποσειδών				
Πλούτων				

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ





Ο ΗΛΙΟΣ

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Ο ΗΛΙΟΣ

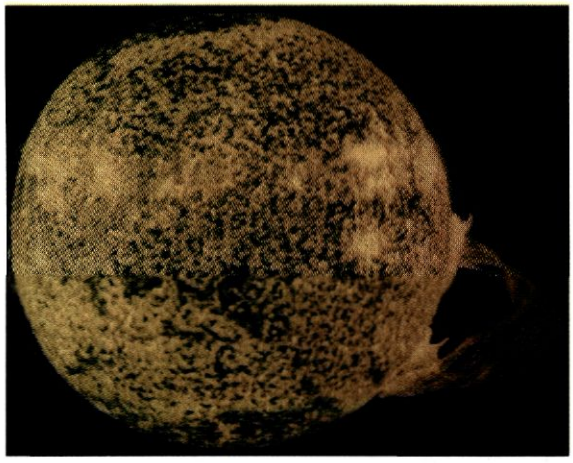
«Ήλιε μου και κυρ Ήλιε μου, κοσμοτριγυριστή μου,
εσύ που στα ψηλά γυρνάς και χαμηλ' αρμενίζεις.»
Δημοτικό

Η θέα του Ηλίου κατέχει κορυφαία θέση στην ανθρώπινη εμπειρία. Η μοναδικότητα και το μεγαλείο του έχει καταγραφεί στις μυθολογίες, στις αρχαίες θρησκείες και στη λογοτεχία όλων των λαών.

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη Γη είναι η θεμελιώδης προϋπόθεση της ύπαρξης και συντήρησης της ζωής. Τα φαινόμενα που συμβαίνουν στον Ήλιο και οι μηχανισμοί μέσω των οποίων παράγεται η ζωογόνος ακτινοβολία του ήταν και είναι μια πρόκληση για την ανθρώπινη διάνοια.

Η μελέτη του Ηλίου που περιέχεται σ' αυτό το κεφάλαιο εστιάζεται στα εξής τρία ερωτήματα:

- Ποια φαινόμενα παρατηρούμε στον Ήλιο;
- Ποια είναι η πηγή της τεράστιας ενέργειας που εκπέμπει γύρω του;
- Ποια είναι η δομή του;



Εικόνα 4.1: Η εικόνα αυτή δείχνει μια έκρηξη στην ατμόσφαιρα του Ηλίου που φωτογραφήθηκε από το Skylab το 1973.

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τι είναι όμως ο Ήλιος;

Ουσιαστικά είναι μια θερμή σφαίρα αερίων, στο εσωτερικό της οποίας γίνονται θερμοπυρηνικές αντιδράσεις. Αποτέλεσμα των αντιδράσεων είναι η παραγωγή ενέργειας, η οποία ύστερα από εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια φτάνει στην επιφάνεια του Ηλίου και στη συνέχεια μόλις σε 8,3 λεπτά φτάνει στη Γη.

Το μεγάλο ενδιαφέρον που παρουσιάζει η μελέτη του Ηλίου καθώς και οι ειδικές συνθήκες παρατήρησής του δημιούργησαν έναν ιδιαίτερο κλάδο της Αστρονομίας, την Ηλιακή Φυσική.

Ο Ήλιος: Ένας τυπικός αστέρας	
Απόσταση από τη Γη	1 A.U.
Ακτίνα	$6{,}966 \times 10^{8}$ m
Μάζα	$1{,}991 \times 10^{30}$ Kg
Μέση πυκνότητα	1.419 Kg/m^3
Λαμπρότητα	$3{,}86 \times 10^{26}$ W
Ηλικία	4,5 δισεκατ. έτη

Βέβαια το γεγονός ότι ο Ήλιος βρίσκεται κοντά στη Γη μας κάνει πολλές φορές να ξεχνάμε ότι είναι και αυτός ένας αστέρας από τους εκατοντάδες του Γαλαξία μας που βλέπουμε με γυμνό μάτι στο νυχτερινό ουρανό. Είναι, δηλαδή, ο κοντινότερος στη Γη αστέρας. Παρατηρώντας τον Ήλιο είναι σαν να παρατηρούμε έναν οποιοδήποτε ίδιο με αυτόν αστέρα. Έτσι, τα συμπεράσματα από τη μελέτη του μπορούμε να τα γενικεύσουμε για ένα πολύ μεγάλο πλήθος αστέρων.

4.2 ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Φωτεινότητα του Ηλίου ονομάζεται η ενέργεια που παράγει ο Ήλιος στη μονάδα του χρόνου. Η τιμή της, που είναι $3{,}86 \times 10^{26}$ Watts, υπολογίστηκε, όταν οι αστρονόμοι κατάφεραν να προσδιορίσουν την απόσταση Γης - Ηλίου. Η ενέργεια που φτάνει στη Γη ανά μονάδα επιφάνειας $1m^2$ και ανά δευτερόλεπτο ονομάζεται **ηλιακή σταθερά**. Ισοδυναμεί με την ισχύ που παράγεται από 14 λαμπτήρες των 100 Watts, ποσότητα αντικειμενικά πολύ μεγάλη για τα γήινα δεδομένα.

Η ενέργεια λοιπόν που παράγει ο Ήλιος είναι τερά-

Απ' όλα τα ουράνια σώματα ο Ήλιος είχε την πιο μεγάλη επίδραση στη φαντασία του ανθρώπου. Οι αρχαίοι λαοί λάτρευαν τον Ήλιο και προς τιμή του είχαν καθιερώσει πλήθος τελετών.

Οι αρχαίοι Έλληνες λάτρευαν τον Ήλιο και φρόντιζαν οι ακτίνες του να φωτίζουν τους ναούς τους. Η λέξη Ήλιος, που προέρχεται από τις λέξεις Αβέλιος, αέλιος, πέλιος, σημαίνει κάτι που καίει. Ο θεός Ήλιος θεωρήθηκε γιός του Υπερίωνα και της Θείας ή της Ευρυφάεσσας (Πολύφωτης). Πολλές φορές ταυτιζόταν με τον πατέρα του και ονομαζόταν Ήλιος -Υπερίων.

Ο Ήλιος δοξάστηκε και λατρεύτηκε σε όλες τις περιόδους της ανθρωπότητας. Γράφει ο Πίνδαρος χαιρετίζοντας την επανεμφάνισή του μετά από μία έκλειψη. «*Ἀκτὶς ἀελίου πολύσκοπε ὀμμάτων*». Δηλαδή: Ηλιαχτίδα συ, που τόσα βλέπεις, μάνα των ματιών.

στια. Οι αστρονόμοι του 19ου αιώνα υπολόγισαν ότι τέτοια ποσά ενέργειας ήταν αδύνατο να παράγονται για περισσότερο από μερικές χιλιάδες χρόνια με χημικές διαδικασίες. Την ίδια εποχή όμως οι γεωλόγοι γνώριζαν ότι η Γη είχε ηλικία χιλιάδων χρόνων. Επομένως, κάποιος άλλος τρόπος παραγωγής ενέργειας, άγνωστος στους επιστήμονες της εποχής αυτής έπρεπε να συμβαίνει στον Ήλιο.

Ο Αϊνστάιν το 1905 διατύπωσε τη βασική ιδέα που εξηγούσε την προέλευση της ενέργειας του Ηλίου.

Στην Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας ενέργεια και μάζα συνδέονται με τη σχέση:

$$\mathbf{E = m \cdot c^2}$$

όπου **m** η μάζα στην οποία αντιστοιχεί η ενέργεια **E** και **c** η ταχύτητα του φωτός.

Επειδή η ποσότητα $\mathbf{c^2}$ είναι ιδιαίτερα μεγάλη (9×10^{16} m^2/s^2), σε ελάχιστη μάζα αντιστοιχεί τεράστια ποσότητα ενέργειας. Για παράδειγμα, 1.000 Kg ύλης αντιστοιχούν σε ενέργεια 9×10^{19} J, δηλαδή στη συνολική ενέργεια που καταναλώνουν οι Ενωμένες Πολιτείες σε ένα έτος!

Για να μπορέσει όμως να πραγματοποιηθεί η μετατροπή της ύλης σε ενέργεια, απαιτούνται ειδικές φυσικές συνθήκες πολύ υψηλής πυκνότητας και θερμοκρασίας. Οι συνθήκες αυτές επικρατούν στον πυρήνα του Ηλίου όπου η θερμοκρασία είναι της τάξεως των 15×10^6 K και η πυκνότητα 150 φορές υψηλότερη από αυτή του νερού. Εκεί η κατάσταση της ύλης είναι διαφορετική από αυτές που γνωρίζουμε στη Γη (τη στερεά, την υγρή και την αέρια). Η κατάσταση αυτή λέγεται κατάσταση πλάσματος. Πρόκειται για ένα αέριο φορτισμένων σωματιδίων, δηλαδή ηλεκτρόνια και πυρήνες ατόμων που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες και συμπεριφέρονται ως ελεύθερα σωματίδια.

Κάτω από αυτές τις προϋποθέσεις γίνεται δυνατή η απελευθέρωση της ενέργειας που περιέχεται στους πυρήνες των ατόμων με δύο τρόπους:

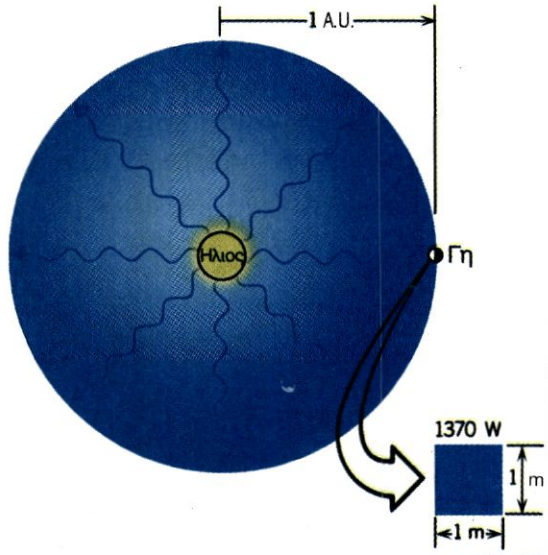
- **την πυρηνική σχάση** και
- **την πυρηνική σύντηξη.**

Στον Ήλιο και σ' όλους τους αστέρες η ενέργεια παράγεται με το δεύτερο τρόπο, την πυρηνική σύντηξη.

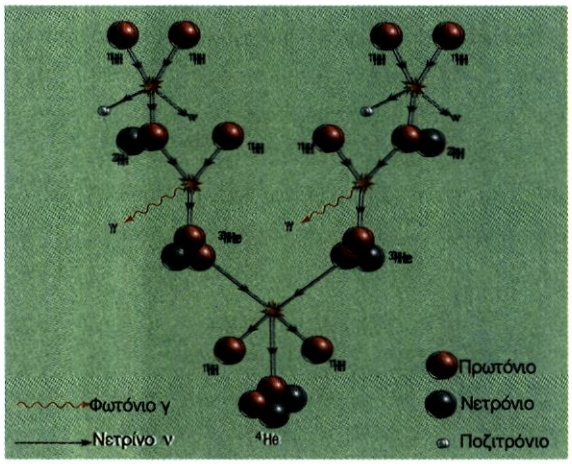
Στην τωρινή φάση της ζωής του Ηλίου από το υδρογόνο που υπάρχει στον πυρήνα του μέσω της πυρηνικής σύντηξης παράγεται ήλιο.

Η αντίδραση αυτή γίνεται καθώς πρωτόνια (δηλαδή οι πυρήνες του υδρογόνου) συγκρούονται και δημιουργούν πυρήνες ηλίου, ενώ ταυτόχρονα απελευθερώνεται ενέργεια με τη μορφή ακτίνων γ και νετρίνων. Η συγκεκριμένη αντίδραση ονομάζεται αλυσίδα πρωτονίου-πρωτονίου (p-p για συντομία) και απελευθερώνει περίπου $4{,}2 \times 10^{-12}$ J για τη δημιουργία ενός πυρήνα ήλιου. Για να δικαιολογηθεί η φωτεινότητα του Ηλίου, θα πρέπει ηλιακή μάζα ίση με 140 τρισεκατομμύρια τόνους να μετατρέπεται σε ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός χρόνου.

Με τη διαδικασία p-p (σχ.4.3) αυξάνεται η περιεκτικότητα του Ηλίου σε ήλιο και μειώνεται σε υδρογόνο. Ο Ήλιος έχει τεράστια αποθέματα υδρογόνου. Ωστόσο, μόνο το υδρογόνο που βρίσκεται κοντά και



Σχήμα 4.2: Η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη μονάδα επιφάνεια της Γης, ανά μονάδα χρόνου.



Σχήμα 4.3: Η αντίδραση της αλυσίδας p-p. Κατά την αντίδραση αυτή παράγονται πυρήνες ηλίου και νετρίνα, και εκλύεται ενέργεια υπό μορφή ακτινοβολίας.

μέσα στον πυρήνα του Ηλίου χρησιμοποιείται, δηλαδή μόλις το 10% της ολικής του μάζας. Βέβαια κάποτε το υδρογόνο θα εξαντληθεί. Πότε θα συμβεί αυτό; Πόσα χρόνια μπορεί να ζήσει ακόμα ο Ήλιος; Οι αστροφυσικοί εκτιμούν ότι ο Ήλιος θα συνεχίσει να παράγει ενέργεια από τη σύντηξη υδρογόνου για 10 δισεκατομμύρια χρόνια ακόμα. Όταν το υδρογόνο του πυρήνα τελειώσει, θα αρχίσει η σύντηξη του ηλίου σε βαρύτερα στοιχεία. Τότε ο ρυθμός παραγωγής ενέργειας θα αλλάξει και, όταν συμβεί αυτό, η διάμετρος, η θερμοκρασία και η λαμπρότητα του Ηλίου θα μεταβληθούν. Τα θέματα αυτά όμως θα μελετηθούν εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

Ώστε η ενέργεια που ακτινοβολείται από τον Ήλιο, ένα μέρος της οποίας φτάνει στη Γη, προέρχεται από τον πυρήνα του.

Για να καταφέρει, ωστόσο, ένα φωτόνιο που γεννήθηκε στον πυρήνα του Ηλίου να φτάσει στην επιφάνειά του, απαιτείται πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι ηλιακές ακτίνες που βλέπουμε σήμερα έχουν γεννηθεί πριν από εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια.

Στην πυρηνική σχάση ο πυρήνας του ατόμου ενός βαρύτερου στοιχείου (π.χ. ουράνιο ή πλουτώνιο) χωρίζεται σε ελαφρύτερους πυρήνες. Τότε το άθροισμα των μαζών των νέων πυρήνων είναι μικρότερο από τη μάζα του αρχικού πυρήνα.

Η διαφορά αυτή μετατρέπεται σε ισοδύναμο ποσό ενέργειας και ελευθερώνεται με τη μορφή ακτινοβολίας.

Στην πυρηνική σύντηξη πυρήνες ατόμων ελαφρύτερων στοιχείων συντήκονται, οπότε δημιουργούνται βαρύτεροι πυρήνες. Πάλι οι πυρήνες που προκύπτουν είναι μικρότερης μάζας από τους αρχικούς και η διαφορά τους μετατρέπεται σε ενέργεια με τη μορφή ακτινοβολίας.

4.3 Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Το εσωτερικό του Ηλίου περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό της μάζας του (σχ 4.3) και είναι το μέρος όπου παράγεται η ενέργειά του. Όλα τα χαρακτηριστικά του Ηλίου είναι αποτέλεσμα της ροής της ενέργειας από το εσωτερικό προς την επιφάνειά του και ερμηνεύονται με τη βοήθεια των νόμων της Φυσικής.

Ποια όμως είναι η δομή του Ηλίου;

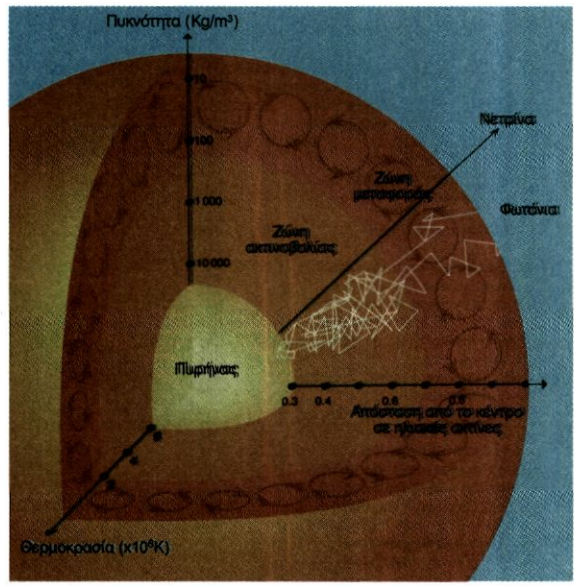
Σύμφωνα με τα θεωρητικά μοντέλα που έχουν κατασκευαστεί για τον Ήλιο, μπορούμε να διακρίνουμε σ' αυτόν εσωτερικά και εξωτερικά τμήματα (σχ. 4.4).

Η ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

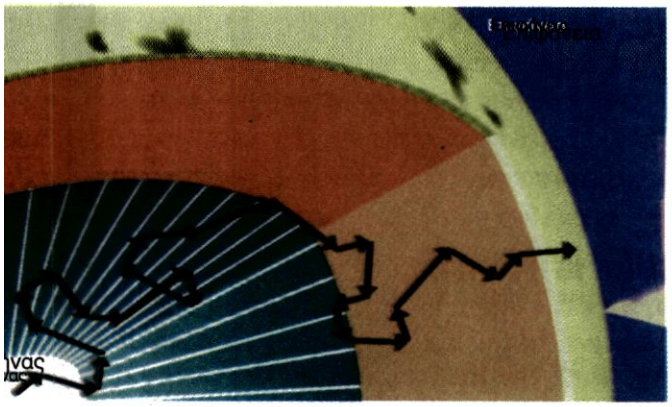
Για το εσωτερικό τμήμα του Ηλίου έχουμε μόνο έμμεσα στοιχεία, μια και η ακτινοβολία που δημιουργείται εκεί απορροφάται κατά τη διαδρομή της στα επόμενα στρώματα που το περιβάλλουν.

Τα πιο έγκυρα ηλιακά μοντέλα χωρίζουν το εσωτερικό του Ηλίου σε τρεις ζώνες (σχ 4.4): α) στον πυρήνα, β) στη ζώνη ακτινοβολίας και γ) στη ζώνη μεταφοράς.

Στον πυρήνα γίνονται οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις και παράγεται η ηλιακή ενέργεια από την «καύση» υδρογόνου (H) σε ήλιο (He). Η θερμοκρασία του πυρήνα, όπως αναφέρθηκε, είναι 8- 15 X 10^6 K και



Σχήμα 4.4: Η εσωτερική δομή του Ηλίου σε τρεις άξονες θερμοκρασίας, πυκνότητας και απόστασης.



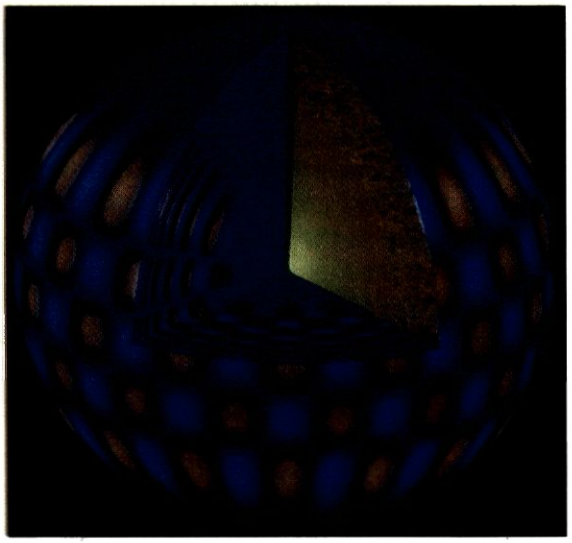
Σχήμα 4.5: Η διαδρομή που ακολουθούν τα φωτόνια που παράγονται στο εσωτερικό του Ηλίου. Συμβαίνουν συνεχείς απορροφήσεις και επανεκπομπές τους, καθώς τα φωτόνια αλληλεπιδρούν με την ύλη.

η ακτίνα του το 20% της ηλιακής. Το 98% της ενέργειας που εκλύεται εκεί μεταφέρεται στην επόμενη ζώνη με φωτόνια ακτινοβολίας γ και με νετρίνα.

Ο πυρήνας περιβάλλεται από τη ζώνη ακτινοβολίας. Πρόκειται για ένα σφαιρικό φλοιό που έχει πάχος το 50% της ηλιακής ακτίνας, θερμοκρασία $2X10^6$ έως $8X10^6$ K και αποτελείται από ιονισμένη ύλη.

Η ενέργεια που έχει παραχθεί στον πυρήνα μεταφέρεται από τις εσωτερικές προς τις εξωτερικές περιοχές της ζώνης αυτής με ακτινοβολία. Τα φωτόνια απορροφούνται και επανεκπέμπονται από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και τα ιόντα της ζώνης ακτινοβολίας (σχ. 4.5).

Γύρω από τη ζώνη ακτινοβολίας εκτείνεται η ζώνη μεταφοράς με πάχος περίπου το 30% της ηλιακής ακτίνας. Στην περιοχή αυτή επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες, της τάξεως των $2X10^6$ K.



Εικόνα 4.6: Τα διάφορα στρώματα του Ηλίου ταλαντώνονται με περίοδο από λίγα λεπτα έως λίγες ώρες. Η εικόνα αυτή παρουσιάζει τις ταλαντώσεις αυτές επεξεργασμένες από ηλεκτονικό υπολογιστή.

Η μικρή, σχετικά, θερμοκρασία και η αρκετά μεγάλη πυκνότητα της ύλης ευνοεί το σχηματισμό ουδέτερων ατόμων, τα οποία απορροφούν τα φωτόνια που φτάνουν εκεί από τη ζώνη ακτινοβολίας. Η μεταφορά της ενέργειας προς τα εξωτερικά στρώματα του Ηλίου γίνεται πλέον κυρίως μέσω ανοδικών ρευμάτων ύλης.

Στο τέλος της ζώνης μεταφοράς η πυκνότητα της ύλης του Ηλίου έχει μειωθεί σημαντικά. Τα άτομα και τα ιόντα συμπεριφέρονται ως ελεύθερα σωματίδια και μπορούν να επανεκπέμπουν φωτόνια. Η ενέργεια διαδίδεται προς την ηλιακή επιφάνεια πάλι με ακτινοβολία. Τα φωτόνια που φτάνουν τελικά στην επιφάνεια του Ηλίου δεν έχουν βέβαια καμιά σχέση με τα αρχικά, που δημιουργήθηκαν στον πυρήνα του.

Αντίθετα, τα νετρίνα δεν αλληλεπιδρούν σχεδόν καθόλου με τα άλλα σωματίδια της ύλης και διασχίζουν ανενόχλητα όλη τη μάζα του Ηλίου περίπου σε 2 δευτερόλεπτα. Αν λοιπόν μπορούσαμε να τα καταμετρήσουμε, θα αντλούσαμε χρήσιμες πληροφορίες για τον πυρήνα του. Σχετικά πειράματα έχουν αρχίσει από το 1970 και περιγράφονται αναλυτικότερα στην παράγραφο των ηλιακών παρατηρήσεων.

Μια άλλη πηγή πληροφοριών για το εσωτερικό του Ηλίου έρχεται απο τα ηχητικά κύματα. Τα κύματα αυτά διαδίδονται στο εσωτερικό του και δημιουργούν φαινόμενα παρόμοια με τους σεισμούς της Γης, που εκδηλώνονται στην επιφάνειά του. Ο Ήλιος λοιπόν πάλλεται με διάφορες συχνότητες. Το γεγονός αυτό προκαλεί αλλοιώσεις στο ηλιακό φάσμα, από τις οποίες μπορούμε να συνάγουμε αξιόλογα συμπεράσματα για τη μορφολογία του εσωτερικού του.

Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

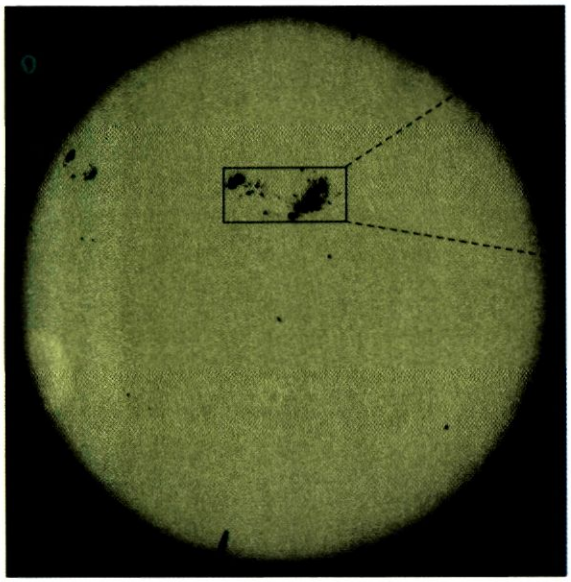
Ο Ήλιος είναι ο μοναδικός αστέρας στον οποίο μπορούμε να παρατηρήσουμε λεπτομέρειες της επιφάνειάς του και των αερίων που τον περιβάλλουν. Η δομή λοιπόν της ατμόσφαιράς του είναι γνωστή. Αποτελείται απο τα εξής στρώματα:

- τη φωτόσφαιρα,
- τη χρωμόσφαιρα,
- το στέμμα και
- τον ηλιακό άνεμο.

Η ΦΩΤΟΣΦΑΙΡΑ

Η φωτόσφαιρα είναι το πρώτο στρώμα της ηλιακής ατμόσφαιρας. Πρόκειται για τη λαμπρή ορατή επιφάνεια του Ηλίου (εικ. 4.7). Ακριβέστερα είναι το θερμό αδιαφανές κέλυφος, που παράγει το παρατηρούμενο συνεχές φάσμα του Ηλίου και αρχίζει ακριβώς μετά τη ζώνη μεταφοράς. Η φωτόσφαιρα έχει κοκκώδη υφή, σαν την επιφάνεια ενός παχύρευστου υγρού που βράζει. Καθεμιά από τις φυσσαλίδες - κόκκους της φωτόσφαιρας έχει ακανόνιστο σχήμα με μέση διάσταση 2.000 Km.

Το φαινόμενο αυτό λέγεται φωτοσφαιρική κοκκίαση (εικ. 4.12) και οφείλεται σε ανοδικά ρεύματα ζεστών αερίων που σχηματίζονται στη βάση της φωτόσφαιρας.

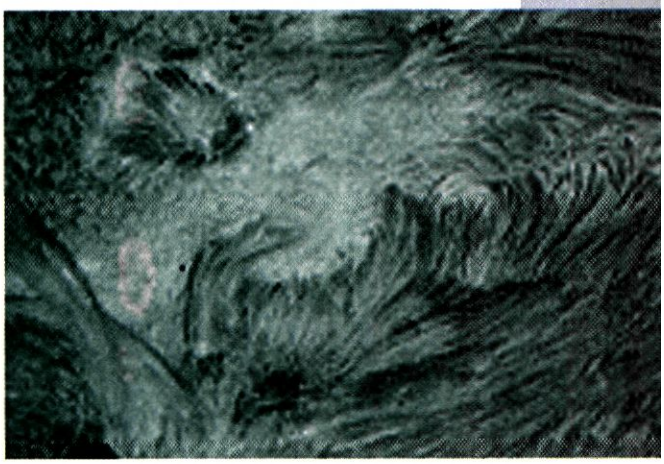


Εικόνα 4.7: Η φωτόσφαιρα του Ηλίου που βλέπουμε. Παρατηρούμε ότι προς το χείλος του Ηλίου το είδωλό του μαυρίζει. Αυτό οφείλεται στο ότι, όταν κοιτάζουμε στο κέντρο του ηλιακού δίσκου, βλέπουμε βαθύτερα και θερμότερα στρώματα της ηλιακής φωτόσφαιρας απ' ό,τι, όταν κοιτάζουμε προς το χείλος του δίσκου. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «αμαύρωση χείλους».

Η ΧΡΩΜΟΣΦΑΙΡΑ

Ακριβώς πριν και μετά τη στιγμή μιάς ολικής έκλειψης του Ήλιου παρατηρείται μια λαμπρή κοκκινωπή λάμψη στο άκρο της φωτόσφαιρας. Αυτή είναι η χρωμόσφαιρα, δηλαδή το τμήμα της ατμόσφαιρας του Ηλίου ακριβώς πάνω από τη φωτόσφαιρα, που εκτείνεται μόλις 2.000 Km μετά από αυτήν (εικ. 4.8). Το κοκκινωπό της χρώμα προέρχεται από την εκπομπή ακτινοβολίας από τη γραμμή Ηα του ουδέτερου υδρογόνου. Η πυκνότητα της χρωμόσφαιρας είναι χίλιες φορές μικρότερη από αυτή της φωτόσφαιρας, και αυτός είναι ο λόγος που είναι διαφανής στο φως.

Η χρωμόσφαιρα μελετάται καλύτερα κατά την ολική έκλειψη του Ηλίου, όμως μπορεί να μελετηθεί καθημερινά και με ένα ειδικό όργανο, το στεμματογράφο, που δημιουργεί τεχνητή ηλιακή έκλειψη.



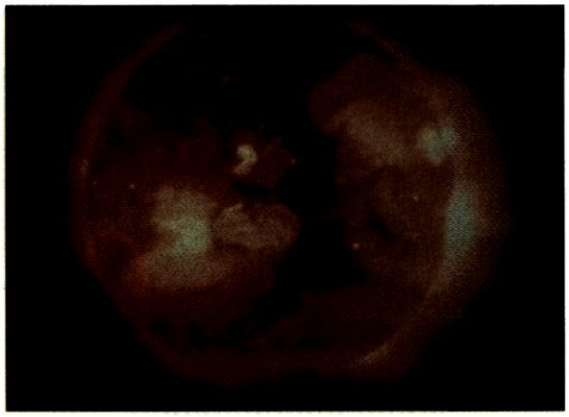
Εικόνα 4.8: Οι πίδακες είναι σχηματισμοί της χρωμόσφαιρας που αντιστοιχούν σε κινήσεις ανοδικών αερίων.

ΤΟ ΣΤΕΜΜΑ

Πάνω από τη χρωμόσφαιρα βρίσκεται το εντυπωσιακό στέμμα που μπορούμε να δούμε ακριβώς τη στιγμή της ολικής ηλιακής έκλειψης. Η λαμπρότητα του στέμματος είναι αντίστοιχη με αυτήν της πανσελήνου (εικ. 4.10).

Το φάσμα του στέμματος έχει κάποιες λαμπρές γραμμές που αποτελούσαν μυστήριο για πολλά χρόνια, μια και δεν μπορούσαν οι αστρονόμοι να καταλάβουν ποιο στοιχείο τις προκαλεί.

Τελικά αποδείχτηκε ότι προέρχονται από έντονα ιονισμένα άτομα στοιχείων, ο ιονισμός των οποίων οφείλεται στην εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία του στέμματος. Μια ακόμα συνέπεια της υψηλής θερμοκρασίας του στέμματος είναι η εκπομπή από αυτό ακτίνων Χ. Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται και με το μαγνητικό πεδίο του Ηλίου και την κίνηση των στεμματικών αερίων (εικ. 4.9). Η εκπομπή ακτίνων Χ από το στέμμα είναι ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα. Οι έρευνες για την πλήρη κατανόησή του συνεχίζονται ακόμα και σήμερα.



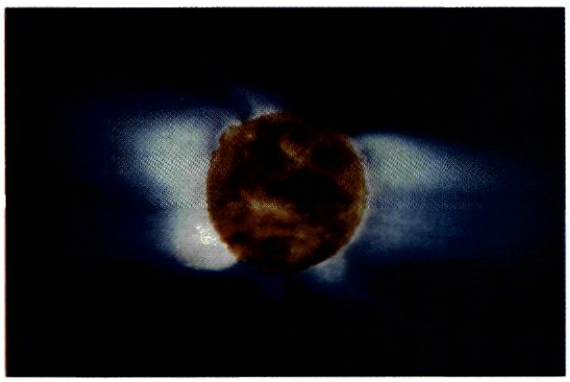
Εικόνα 4.9: Η ατμόσφαιρα του Ηλίου σε ακτίνες Χ. Οι λαμπρές περιοχές αντιστοιχούν σε θερμό πλάσμα, παγιδευμένο από το μαγνητικό πεδίο του Ηλίου.

Ο ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ

Οι πρώτοι δορυφόροι που εκτοξεύτηκαν στις αρχές του 1950 επιβεβαίωσαν την ύπαρξη του ηλιακού ανέμου, μια υπόθεση που ήδη υπήρχε και βασιζόταν στην εκτροπή των ουρών των κομητών, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.7.

Ο ηλιακός άνεμος μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι προέκταση της ατμόσφαιρας του Ηλίου. Σχηματίζεται από την ηλιακή ακτινοβολία μαζί με την έντονη ροή πρωτονίων, ηλεκτρονίων και πυρήνων ηλίου, που εκτοξεύονται από την ατμόσφαιρα του Ηλίου με ταχύτητες εκατοντάδων χιλιομέτρων ανά δευτερόλεπτο. Τα σωματίδια αυτά ταξιδεύουν κατά μήκος των ανοιχτών μαγνητικών γραμμών του στέμματος (σχ. 4.10).

Η ποσότητα της ηλιακής μάζας που διαφεύγει με τον ηλιακό άνεμο φτάνει τους ένα εκατομμύριο τόνους ανά δευτερόλεπτο. Παρ' όλα αυτά στα 4,6 δισεκατομμύρια χρόνια που λειτουργεί ο μηχανισμός του ηλιακού ανέμου, μόλις το 0,1% της αρχικής ηλιακής μάζας έχει χαθεί μέσω αυτού.



Εικόνα 4.10: Η εικόνα αυτή είναι συνδυασμός του ειδώλου του Ηλίου στο ορατό φως και σε ακτίνες Χ (κόκκινο είδωλο). Φαίνεται ο ηλιακός άνεμος.

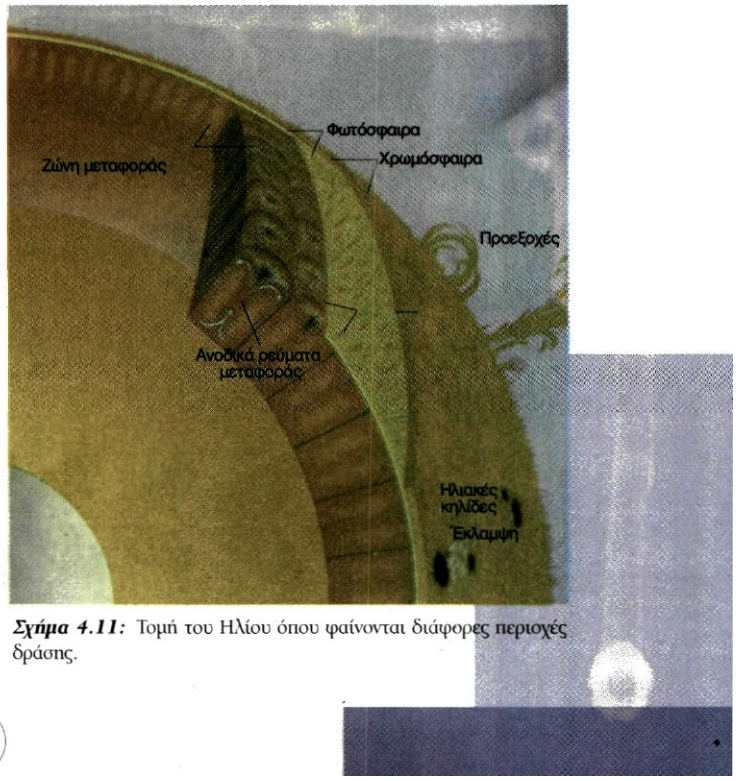
4.4 ΗΛΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Η φωτόσφαιρα, η χρωμόσφαιρα και το στέμμα αποτελούν τα εξωτερικά διαδοχικά στρώματα του Ηλίου. Τα στρώματα αυτά δεν είναι ομοιογενή και έχουν διαφορετική δομή μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την περιστροφή του Ηλίου και το μαγνητικό του πεδίο έχουν αποτέλεσμα να παρατηρούνται φαινόμενα μικρής χρονικής διάρκειας, εντοπισμένα σε περιοχές πάνω ή κοντά σε αυτά τα στρώματα. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται περιοχές δράσης (σχ. 4.11). Τα πιο σημαντικά από αυτά τα φαινόμενα είναι οι ηλιακές κηλίδες, οι προεξοχές, οι εκλάμψεις και οι στεμματικές οπές και συμπυκνώσεις.

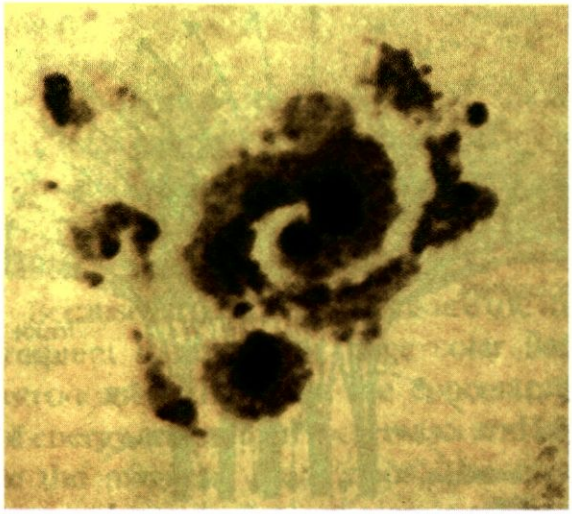
Όλα αυτά είναι συνδεδεμένα με τοπικά ισχυρά μαγνητικά πεδία. Τα φαινόμενα αυτά συνθέτουν την ηλιακή δραστηριότητα.

ΗΛΙΑΚΕΣ ΚΗΛΙΔΕΣ

Ακόμα και με ένα μικρό τηλεσκόπιο, χρησιμοποιώντας πάντοτε κατάλληλο φίλτρο, μπορούμε να παρατηρήσουμε τις ηλιακές κηλίδες σαν σκοτεινές



Σχήμα 4.11: Τομή του Ηλίου όπου φαίνονται διάφορες περιοχές δράσης.



Εικόνα 4.12: Μία ασυνήθιστη ομάδα κηλίδων παρατηρήθηκε το 1982. Η μεγάλη κηλίδα έχει σπειροειδές σχήμα.

περιοχές πάνω στον ηλιακό δίσκο (σχ. 4.12). Ο λόγος που εμφανίζονται σκοτεινές είναι οτι η θερμοκρασία τους, αν και ανέρχεται στους 4.200 K, είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία της περιοχής που τις περιβάλλει, και η οποία φτάνει τους 6.400 K. Αν όμως μια ηλιακή κηλίδα βρισκόταν απομονωμένη μακριά από τον Ήλιο, τότε θα τη βλέπαμε να λάμπει με ένα έντονο κόκκινο χρώμα μέσα στο σκοτεινό Σύμπαν.

Οι κηλίδες εμφανίζονται συνήθως κατά ομάδες. Δημιουργούνται στη φωτόσφαιρα, σε περιοχές δράσης ανάμεσα στους φωτοσφαιρικούς κόκκους.

Ο χρόνος ζωής τους κυμαίνεται από λίγες ώρες μέχρι μερικές ημέρες, σπάνια μήνες. Το μαγνητικό πεδίο των κηλίδων είναι πάρα πολύ ισχυρό, χιλιάδες φορές μεγαλύτερο από το μαγνητικό πεδίο του Ηλίου.

Από τη μελέτη των κηλίδων φαίνεται ότι θερμό φωτοσφαιρικό υλικό αναβλύζει προς την κεντρική τους περιοχή, ψύχεται και πέφτει ξανά στον περίγυρο.

Οι ηλιακές κηλίδες είναι ένα φαινόμενο περιοδικό. Το πλήθος τους μεταβάλλεται περιοδικώς, με περίοδο έντεκα έτη, από ένα μέγιστο αριθμό μέχρι σχεδόν την πλήρη εξαφάνισή τους από τον ηλιακό δίσκο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ενδεκαετής κύκλος.

Στην αρχή του κύκλου οι κηλίδες εμφανίζονται σε μεγάλα πλάτη μακριά από τον ηλιακό ισημερινό και, καθώς το φαινόμενο εξελίσσεται, αυτές συγκεντρώνονται προς τα μικρότερα ηλιογραφικά πλάτη και φτάνουν στο μέγιστο πλήθος. Το φαινόμενο παρουσιάζεται στο διάγραμμα του σχ. 4.13, που είναι γνωστό ως διάγραμμα πεταλούδας.

ΕΚΛΑΜΨΕΙΣ

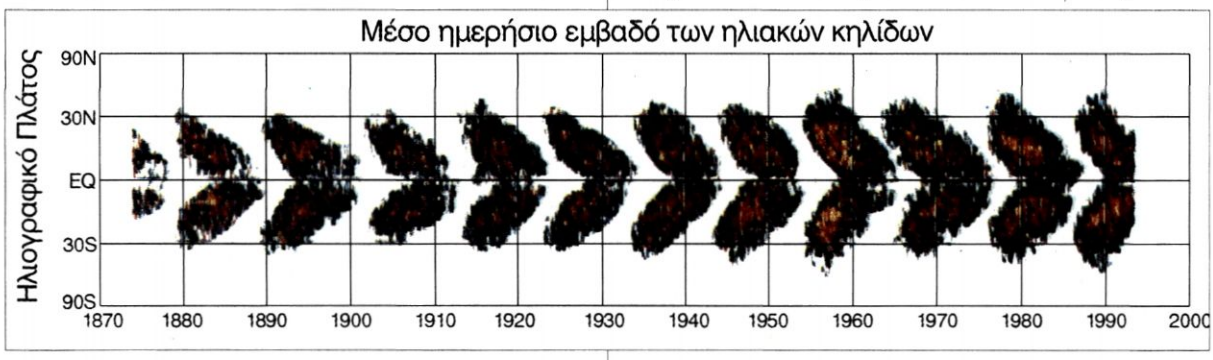
Οι κηλίδες δεν είναι απομονωμένα φαινόμενα. Συνδέονται και με άλλα φαινόμενα της ηλιακής δραστηριότητας, όπως είναι οι εκλάμψεις και οι προεξοχές.

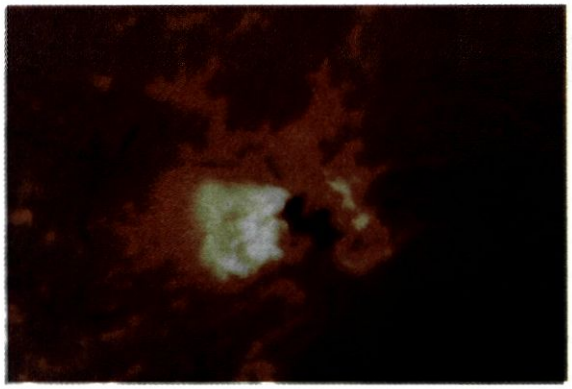
Οι ηλιακές κηλίδες μπορεί να θεωρηθούν ότι είναι ηλεκτρομαγνητικές καταιγίδες. Όπως στις γήινες καταιγίδες απελευθερώνεται ενέργεια μέσω των ηλεκτρικών εκκενώσεων, έτσι και στις ηλιακές εκλύονται συγκριτικά τεράστια ποσά ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Η ενέργεια αυτή δημιουργεί τις εκλάμψεις. Το φαινόμενο αυτό διαρκεί συνήθως μερικά λεπτά και σπανιότερα μερικές ώρες (εικ. 4.14).

Ο ακριβής μηχανισμός της δημιουργίας των εκλάμψεων δεν είναι, ακόμα και σήμερα, απόλυτα γνωστός. Ωστόσο οι ποσότητες ενέργειας που τις συνοδεύουν είναι θεαματικές.

Σε μερικές περιπτώσεις φτάνουν τα 10^{25} J, ενέργεια που εκλύεται από βόμβα δύο εκατομμυρίων μεγατόνων TNT! Η ενέργεια αυτή κατανέμεται σε όλα τα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος,

Σχήμα 4.13: Το διάγραμμα πεταλούδας που δείχνει τη χωρική διάταξη των κηλίδων στη διάρκεια των ετών από το 1600 έως το 2000.





Εικόνα 4.14: Έκλαμψη που καταγράφτηκε από το Skylab.

ακτίνες Χ, υπεριώδες, ορατό κτλ., καθώς και σε υψηλής ταχύτητας πρωτόνια και ηλεκτρόνια.

ΠΡΟΕΞΟΧΕΣ

Οι προεξοχές είναι από τα πιο εντυπωσιακά φαινόμενα του Ηλίου. Είναι τεράστια νέφη ιονισμένου αερίου που εκτοξεύονται εκατοντάδες χιλιάδες χιλιόμετρα πάνω από τη φωτόσφαιρα, μέσα στο στέμμα, με ταχύτητες που φτάνουν μέχρι και 100 Km/sec. Όταν προβάλλονται στο χείλος του Ηλίου, είναι εντυπωσιακοί λαμπροί σχηματισμοί, ενώ, όταν τις βλέπουμε πάνω στο δίσκο του, φαίνονται σαν σκοτεινά νήματα, λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας που έχουν από την περιοχή όπου προβάλλονται (σχ. 4.15). Εμφανίζονται σχεδόν πάντα κοντά σε ομάδες κηλίδων.

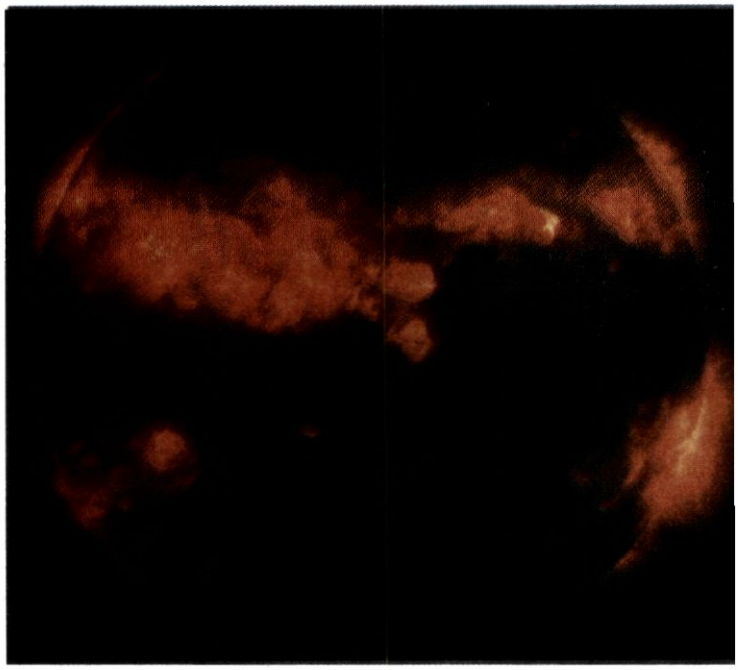
ΣΤΕΜΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΠΕΣ

Στο στέμμα η παρουσία των περιοχών δράσης εκδηλώνεται με συμπυκνώσεις της στεμματικής

Εικόνα 4.15: Ηλιακή προεξοχή.

ύλης. Πρόκειται για περιοχές με μεγάλη πυκνότητα ύλης και θερμοκρασία, συνθήκες που ευνοούν τον ιονισμό των ατόμων, δηλαδή την απώλεια των ηλεκτρονίων τους και τη δημιουργία πλάσματος. Οι περιοχές αυτές φαίνονται πολύ λαμπρές σε φωτογραφίες του Ηλίου που έχουν ληφθεί στην περιοχή των ακτίνων Χ (εικ. 4.16).

Οι υπόλοιπες περιοχές του στέμματος εμφανίζονται σκοτεινές, ειδικά αυτές που βρίσκονται κοντά στους πόλους και στον ισημερινό του Ηλίου, καθώς το στεμματικό αέριο που περιέχουν έχει μικρότερη θερμοκρασία και πυκνότητα. Πιστεύεται ότι οι στεμματικές οπές είναι η βασική πηγή του ηλιακού ανέμου.



Εικόνα 4.16: Εικόνα του Ηλίου σε ακτίνες Χ, όπου φαίνονται οι στεμματικές συμπυκνώσεις και οπές.

4.5 Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Ο Ήλιος ακτινοβολεί ενέργεια από τα εξωτερικά του στρώματα προς το διάστημα, που κατανέμεται σε όλες τις περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Εκπέμπει λοιπόν ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοκυμάτων, του υπερύθρου, του ορατού και του υπεριώδους, στις ακτίνες Χ και γ. Επιπλέον, ο Ήλιος εκπέμπει και σωματιδιακή ακτινοβολία μέσω του ηλιακού ανέμου.

Καθεμιά από τις ακτινοβολίες αυτές μεταφέρει πληροφορίες οι οποίες αφορούν διαφορετικά φαινόμενα

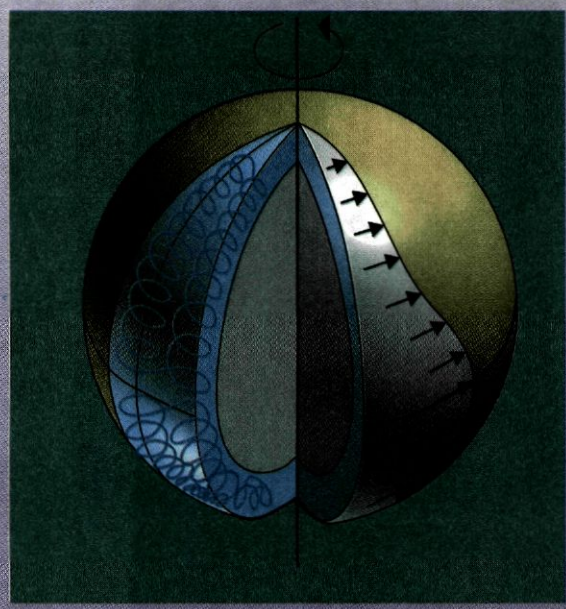
Ο ΗΛΙΑΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Οι ηλιακές κηλίδες ανακαλύφθηκαν με το πρώτο τηλεσκόπιο από το Γαλιλαίο περίπου το 1613. Το 1843 ένας Γερμανός ερασιτέχνης αστρονόμος, ο Heinrich Schwabe, παρατήρησε την περιοδικότητα που εμφανίζουν.

Μέσα στον κύκλο αυτό, που είναι κατά προσέγγιση 11ετής (μεταξύ 9 και 12,5 χρόνια) όλα τα φαινόμενα που αναλύσαμε και είναι συνδεδεμένα με την ηλιακή δραστηριότητα μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά τους. Επιπλέον έχει παρατηρηθεί ότι περίπου κάθε έντεκα χρόνια το μαγνητικό πεδίο του Ηλίου αλλάζει προσανατολισμό.

Το φαινόμενο αυτό εξηγείται ικανοποιητικά από το μοντέλο της «ηλεκτρομαγνητικής γεννήτριας», που σε αδρές γραμμές μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

Η ζώνη μεταφοράς του Ηλίου συμπεριφέρεται όπως ένα περιστρεφόμενο ρευστό. Αυτό έχει συνέπεια οι περιοχές του Ήλιου που βρίσκονται κοντά στους πόλους του να περιστρέφονται με διαφορετική περίοδο από τις περιοχές



Σχήμα 4.17: Η διαφορική περιστροφή του Ηλίου επιδρά στις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού του πεδίου.

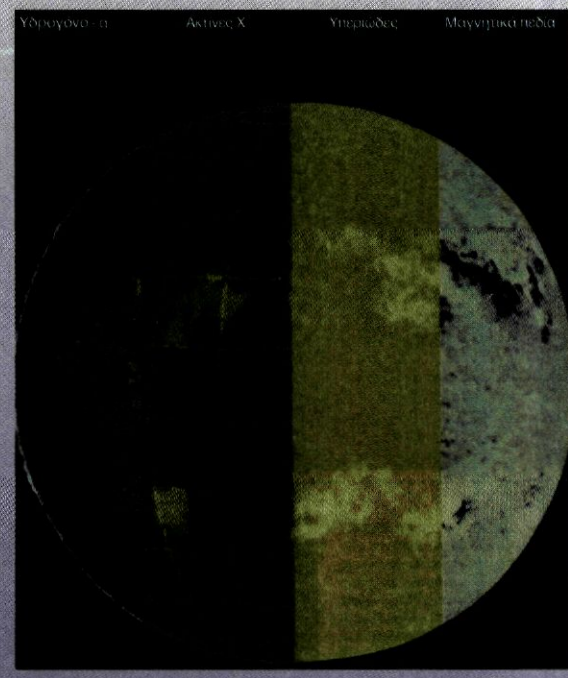
που βρίσκονται κοντά στον ισημερινό[1]. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «διαφορική περιστροφή του Ηλίου». Λόγω λοιπόν της διαφορικής περιστροφής, οι δυναμικές γραμμές του ηλιακού μαγνητικού πεδίου περιπλέκονται μεταξύ τους, όπως τα νήματα που στρίβουμε για να φτιάξουμε ένα σκοινί (σχ. 4.17).

Με τον τρόπο αυτό το μαγνητικό πεδίο γίνεται κατά τόπους πολύ ισχυρό. Αλληλεπιδρά έντονα με τα ανερχόμενα ρεύματα ιονισμένης ύλης και προκαλεί εντυπωσιακά φαινόμενα που παρατηρούνται στις περιοχές δράσης.

Ώστε ο Ήλιος, εξαιτίας της διαφορικής του περιστροφής και της ανοδικής κίνησης της ύλης στη ζώνη μεταφοράς, λειτουργεί κατά κάποιο τρόπο σαν μια ηλεκτρομαγνητική γεννήτρια.

Ωστόσο, πολλά ζητήματα παραμένουν ακόμα και μέχρι σήμερα ανοιχτά: Πώς ακριβώς η διαφορική περιστροφή του Ηλίου αλληλεπιδρά με το μαγνητικό του πεδίο; Η μορφή του μαγνητικού πεδίου επηρεάζεται από τις κινήσεις της ηλιακής ύλης; Υπάρχει σχέση μεταξύ του αριθμού των κηλίδων και της ταχύτητας περιστροφής του Ηλίου;

Για να απαντηθούν τα ερωτήματα αυτά, όπως και πολλά άλλα, χρειάζεται να γίνουν ακόμα πολλές συστηματικές παρατηρήσεις και μελέτες των κινήσεων της ύλης του Ηλίου, των μεταβολών του μαγνητικού του πεδίου, των επιφανειακών και ατμοσφαιρικών του σχηματισμών και



Εικόνα 4.18: Εικόνα τεσσάρων διαφορετικών περιοχών του Ηλίου σε διαφορετικές περιοχές του Η/Μ φάσματος. α) άνω φωτόσφαιρα και κάτω χρωμόσφαιρα β) στέμμα γ) άνω χρωμόσφαιρα και δ) περιοχές δράσης.

βέβαια προσεκτική ανάλυση όλου του φάσματος της εκπεμπόμενης από αυτόν ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

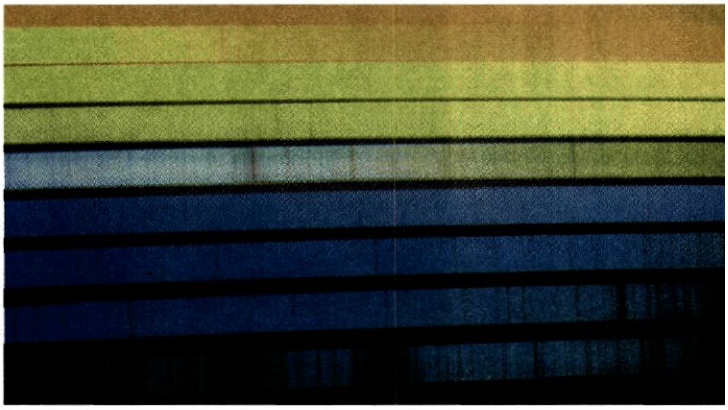
Πρόσφατα παρατηρησιακά δεδομένα από το δορυφόρο SMM (Solar Maximum Mission) έχουν συνεισφέρει σημαντικά στην πληρέστερη κατανόηση των μηχανισμών που κρύβονται πίσω από την ηλιακή δραστηριότητα. Μηχανισμοί που φαίνεται ότι είναι πολύ πιο σύνθετοι και περίπλοκοι από την αρχική εικόνα που είχε δημιουργηθεί, όταν οι επιστήμονες ξεκίνησαν να μελετούν συστηματικά τον Ήλιο.

[1] Ένα σημείο του ηλιακού ισημερινού εκτελεί μια πλήρη περιστροφή μέσα σε 25 ημέρες, ενώ ένα σημείο πολύ κοντά σε έναν από τους ηλιακούς πόλους σε 31.

που συμβαίνουν σε διαφορετικά στρώματα του Ήλιου.

Το ηλιακό φάσμα (σχ. 4.19) είναι σύνθετο, με αρκετά έντονο, συνεχές υπόβαθρο που διακόπτεται από χιλιάδες σκοτεινές και λίγες φωτεινές γραμμές διάφορων εντάσεων. Πρώτος το μελέτησε ο Φραουνχόφερ (Fraunhofer 1814) και αυτός είναι ο λόγος που φέρει το όνομά του. Από τη μελέτη του ηλιακού φάσματος ανιχνεύονται τα χημικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται ο Ήλιος καθώς και οι φυσικές συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρά του. Το συνεχές υπόβαθρο του φάσματος προέρχεται από τη φωτόσφαιρα, ενώ οι γραμμές απορρόφησης από τα υπερκείμενα στρώματα, στα οποία οφείλονται και μερικές λαμπρές γραμμές εκπομπής.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι γραμμές του ηλιακού φάσματος, που αρχικά αποδόθηκαν στο υποθετικό στοιχείο «κορώνιο», αποδείχτηκε ότι ανήκαν σε γνωστά χημικά στοιχεία, που όμως βρίσκονταν στις ειδικές φυσικές συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα του Ηλίου.



Σχήμα 4.19: Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας.

4.6 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΣΤΗ ΓΗ

Η Γη, όπως έχει ήδη αναφερθεί, βρίσκεται υπό τη συνεχή επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, τόσο της ηλεκτρομαγνητικής όσο και της σωματιδιακής. Η αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας αυτής με τα ανώτερα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας προκαλεί ορισμένα πολύ ενδιαφέροντα και χαρακτηριστικά φαινόμενα.

ΗΛΙΑΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Οι παρατηρήσεις του Ηλίου γίνονται σήμερα σε όλες τις περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος τόσο από τη Γη όσο και από το διάστημα. Η σημασία των παρατηρήσεων αυτών είναι τεράστια, και γιατί ο Ήλιος είναι ένας τυπικός αστέρας, και γιατί υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της ηλιακής δραστηριότητας και ορισμένων γήινων φαινομένων.

Πώς όμως γίνονται οι ηλιακές παρατηρήσεις;

Για παρατηρήσεις από το έδαφος χρησιμοποιούνται οι ηλιακοί πύργοι, οι ραδιοηλιογράφοι και οι στεμματογράφοι, που τοποθετούνται σε τοποθεσίες με προδιαγραφές ανάλογες με αυτές που έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 2.

Στο εσωτερικό των ηλιακών πύργων (εικ. 4.20) τοποθετούνται τα τηλεσκόπια και οι μετρητικές διατάξεις, ώστε να αποφεύγονται διαταραχές στις παρατηρήσεις που οφείλονται στη θέρμανση των οργάνων από την ηλιακή ακτινοβολία.

Οι ηλιακές ακτίνες που δεσμεύονται στην κορυφή του πύργου φτάνουν τελικά στη βάση του, όπου οδηγούνται σε ένα φασματογράφο, ή σχηματίζουν το είδωλο του ηλιακού δίσκου.

Εικόνα 4.20: Ο ηλιακός πύργος της Meudon.

Εικόνα 4.21: Το διαστημόπλοιο Skylab.

Ο στεμματογράφος είναι ένα τηλεσκόπιο που δημιουργεί τεχνητή έκλειψη. Με δίσκο κατάλληλων διαστάσεων κρύβει το είδωλο του Ηλίου, ώστε να δίνεται η δυνατότητα καθημερινής μελέτης του στέμματος. Στεμματογράφο διαθέτουν δέκα αστεροσκοπεία στον κόσμο, εκ των οποίων το παλαιότερο είναι αυτό του Pic du Midi στα Πυρηναία. Με τους ραδιοηλιογράφους οι αστρονόμοι συλλέγουν και επεξεργάζονται τα ραδιοκύματα που εκπέμπει ο Ήλιος.

Εικόνα 4.22: Παρατηρώντας τα ηλιακά νετρίνα από το ορυχείο της Νότιας Ντακότα!

Όμως η μελέτη του Ήλιου προωθήθηκε ιδιαίτερα από τις διαστημικές αποστολές, με πρώτη αυτή του OSO-1 (Orbital Solar Observatory) το 1962. Από τότε πολλές άλλες διαστημικές αποστολές ακολούθησαν, από τις οποίες σημαντικότερες είναι οι εξής :

α) Του Skylab (εικ. 4.21). Η επανδρωμένη αυτή αποστολή έφερε στη Γη χιλιάδες φωτογραφίες της ηλιακής ατμόσφαιρας (1973-1974).

β) Η SMM (Solar Maximum Mission) το 1980, με στόχο να μελετηθεί η συμπεριφορά του Ηλίου στο μέγιστο της ηλιακής δραστηριότητάς του.

γ) Η αποστολή Ulysses το 1990. Η Ευρωπαϊκή αυτή αποστολή είχε ειδικό στόχο τη μελέτη των ηλιακών πόλων.

Τα δεδομένα που προέκυψαν από τις αποστολές αυτές ήταν πολύ σημαντικά και μάλιστα κάποια από αυτά ξάφνιασαν τους αστρονόμους.

Όπως ήδη αναφέραμε, για να «δούμε» το εσωτερικό του Ηλίου, πρέπει να καταμετρήσουμε τα νετρίνα που παράγονται στον πυρήνα του. Πειράματα καταμέτρησης νετρίνων με ειδικά «τηλεσκόπια» είναι σε εξέλιξη στην Αμερική, την Ιαπωνία και άλλες χώρες. Πρώτοι το 1970 ο Davis και οι συνεργάτες του έφτιαξαν ένα περίεργο τηλεσκόπιο νετρίνων στην Αμερική. Πρόκειται για μια τεράστια δεξαμενή που βρίσκεται 1,6 Km κάτω από την επιφάνεια της Γης, σε ορυχείο της Νότιας Ντακότα και περιέχει 387.000 λίτρα διαλύματος μιας ένωσης του χλωρίου (εικ.4.22). Το διαλυμένο χλώριο απορροφά τα νετρίνα και μετατρέπεται σε αργό. Με πολύ περίτεχνες και λεπτές διαδικασίες μπορεί με τον τρόπο αυτό να γίνει η καταμέτρηση των νετρίνων.

Το πρώτο αυτό πείραμα μπόρεσε να δικαιολογήσει μόνο το 1/3 των νετρίνων που προβλέπονται θεωρητικά. Παρόμοια πειράματα βρίσκονται σε εξέλιξη και στον ευρωπαϊκό χώρο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το πρόγραμμα NESTOR, που υλοποιείται στον υποθαλάσσιο χώρο της Πύλου με συμμετοχή Ελληνικών και ξένων ερευνητικών κέντρων.

Τα τελευταία 30 χρόνια ο συνδυασμός των παρατηρήσεων που έγιναν από το διάστημα και από τα επίγεια τηλεσκόπια επέτρεψαν στους αστρονόμους να φτάσουν σε ακριβή συμπεράσματα σχετικά με τη δομή όλων των στρωμάτων της ηλιακής ατμόσφαιρας. Μπόρεσαν έτσι να ελέγξουν και να αξιολογήσουν τα ηλιακά θεωρητικά μοντέλα. Πολλές από τις παρατηρήσεις αυτές έδωσαν απρόσμενα αποτελέσματα και έδειξαν ότι η πραγματική δομή του Ηλίου είναι ιδιαίτερα περίπλοκη.

Τα πιο εντυπωσιακά φαινόμενα συμβαίνουν στην ιονόσφαιρα της Γης. Είναι περισσότερο έντονα στο μέγιστο της ηλιακής δραστηριότητας και σχετίζονται κυρίως με τις εκλάμψεις, κατά τις οποίες εκλύονται πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας και σωματίδια από τον Ήλιο. Θα εστιάσουμε την προσοχή μας σε τρία από αυτά, στις ιονοσφαιρικές καταιγίδες, στο πολικό σέλας και στη διαστολή της γήινης ατμόσφαιρας.

Ο μεγάλος αριθμός των φορτισμένων σωματιδίων και η ισχυρότατη Η/Μ ακτινοβολία που εκπέμπονται κατά τις ηλιακές εκλάμψεις επηρεάζουν τη σύσταση, την έκταση και το σχήμα της ιονόσφαιρας. Έτσι, είναι πιθανή η διαταραχή ή ακόμα και η διακοπή της επικοινωνίας μεταξύ απομακρυσμένων περιοχών του πλανήτη, που επικοινωνούν με ραδιοκύματα διερχόμενα μέσα από την ιονόσφαιρα.

Το Μάρτιο του 1989, εξ αιτίας μιας από τις ισχυρότερες ηλιακές εκλάμψεις που έχουν καταγραφεί, διακόπηκαν εντελώς οι τηλεπικοινωνίες με την περιοχή του Κεμπέκ του Καναδά, όπου κατοικούν 6 εκατομμύρια άνθρωποι.

Το πολικό σέλας είναι ιδιαίτερα φωτεινό και εντυπωσιακό φαινόμενο του νυχτερινού ουρανού, που παρατηρείται σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Παρουσιάζεται σε ποικίλα σχήματα, εντάσεις και χρώματα με διαφορετική σταθερότητα και διάρκεια. Δημιουργείται, όταν αλληλεπιδρούν άτομα και μόρια

Ιονόσφαιρα: Είναι περιοχή της γήινης ατμόσφαιρας που εκτείνεται σε ύψος από 60 έως και άνω των 1000 Km από το έδαφος. Χαρακτηριστικό στοιχείο της ιονόσφαιρας είναι η μεγάλη συγκέντρωση των ιόντων και των ελεύθερων ηλεκτρονίων που περιέχει. Τα ιόντα και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια σχηματίζονται στην περιοχή αυτή από τον ιονισμό των ουδετέρων ατόμων που προκαλείται από τις υπεριώδεις ακτινοβολίες και τις ακτίνες Χ του Ηλίου.

Λόγω των φορτισμένων σωματιδίων που περιέχει, η ιονόσφαιρα αλληλεπιδρά έντονα με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Μια σημαντική της ιδιότητα-που αφορά τις ραδιοεπικοινωνίες και τις ραδιοπαρατηρήσεις-είναι ότι μπορεί να απορροφά, να διαθλά ή να ανακλά τα ραδιοκύματα, ανάλογα με τη συχνότητά τους.

Εικόνα 4.23: Εικόνα του πολικού σέλαος.

της ανώτερης ατμόσφαιρας με τη σωματιδιακή ακτινοβολία του Ηλίου. Τα φορτισμένα σωματίδια που έρχονται από τον Ήλιο κινούνται μέσα στο μαγνητικό πεδίο της Γης, συγκρούονται με άτομα ή μόρια της ατμόσφαιρας και τα διεγείρουν. Όταν τα τελευταία αποδιεγείρονται, εκπέμπουν ορατή ακτινοβολία που προκαλεί τους φωτεινούς σχηματισμούς του πολικού σέλαος.

Η ηλιακή Η/Μ και σωματιδιακή ακτινοβολία επιταχύνει τα ιόντα και τα σωματίδια με τα οποία αλληλεπιδρά, με συνέπεια να αυξάνεται η κινητική τους ενέργεια. Έτσι, προκαλείται θέρμανση των εξωτερικών στρωμάτων της γήινης ατμόσφαιρας και διαστολή τους.

Η πτώση του διαστημικού σταθμού Skylab το 1979 συνέβη ακριβώς, λόγω της αφύσικα μεγάλης διαστολής της γήινης ατμόσφαιρας που σημειώθηκε τότε. Η αιτία του φαινομένου αυτού σχετίστηκε με το γεγονός ότι το 1980 ήταν το έτος του μεγίστου της ηλιακής δραστηριότητας.

Τέλος, όσον αφορά τη σχέση του κλίματος της Γης με τους κύκλους της ηλιακής δραστηριότητας, είναι παρακινδυνευμένη η διατύπωση οποιασδήποτε άποψης. Τα καταγραμμένα στοιχεία που υπάρχουν μέχρι στιγμής-από το 1860 έως σήμερα-δεν επαρκούν για τη θεμελίωση μιας αποδεκτής επιστημονικά άποψης.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Ο Ήλιος είναι ένας αστέρας, δηλαδή μία θερμότατη μάζα αερίων, στο εσωτερικό της οποίας συμβαίνουν θερμοπυρηνικές αντιδράσεις.
- Ο Ήλιος, λόγω της μικρής σχετικά απόστασης που έχει από τη Γη, είναι υπεύθυνος για την ανάπτυξη της ζωής πάνω σ' αυτήν. Τα συμπεράσματα που εξάγονται από την παρατήρηση του Ηλίου βρίσκουν άμεση εφαρμογή σε θεωρητικά μοντέλα για όλους τους όμοιους με αυτόν αστέρες.
- Η ενέργεια του Ήλιου παράγεται στο εσωτερικό του από θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, κατά τις οποίες το υδρογόνο μετατρέπεται σε ήλιο. Μόνο εκεί οι τιμές της θερμοκρασίας και της πυκνότητας επιτρέπουν τέτοιου είδους αντιδράσεις που για δισεκατομμύρια χρόνια ακόμα θα εξασφαλίζουν ροή ενέργειας απο τον Ήλιο.
- Η ενέργεια που παράγεται στο εσωτερικό του Ηλίου με τη μορφή ακτινοβολίας διαδίδεται προς τα εξωτερικά του στρώματα. Από την αλληλεπίδραση ύλης και ακτινοβολίας και από τη μεταφορά της ενέργειας διαμορφώνεται η δομή του Ήλιου. Το εσωτερικό του τμήμα διακρίνεται στον πυρήνα, τη ζώνη ακτινοβολίας και τη ζώνη μεταφοράς. Το εξωτερικό τμήμα, δηλαδή η ατμόσφαιρά του, διακρίνεται στη φωτόσφαιρα, τη χρωμόσφαιρα, το στέμμα και τον ηλιακό άνεμο. Η δομή κάθε ζώνης είναι διαφορετική και διαφορετικά φαινόμενα λαμβάνουν χώρα σε κάθε τμήμα.

ΤΑ ΗΛΙΑΚΑ ΝΕΤΡΙΝΑ

Όπως ήδη γνωρίζουμε, κατά τη διάρκεια των πυρηνικών αντιδράσεων στο εσωτερικό του Ηλίου παράγονται νετρίνα, που περνούν με μεγάλη ευκολία όλα τα στρώματα του αστέρα και φτάνουν στη Γη. Είναι σημαντικό να ανιχνεύσουμε τα νετρίνα αυτά τα οποία θα μας δώσουν σημαντικές πληροφορίες για τις πυρηνικές αντιδράσεις στον πυρήνα του Ηλίου.

Τα πρώτα πειράματα άρχισαν το 1970 στην Αμερική όπου ανιχνεύονται τα νετρίνα στο βάθος ενός χρυσωρυχείου στο Homestake. Ο ανιχνευτής είναι μία δεξαμενή 600 τόνων τετραχλωράνθρακα. Όταν ένα νετρίνο συγκρουστεί με έναν πυρήνα χλωρίου του τετραχλωράνθρακα, αυτός μετασχηματίζεται σε ραδιενεργό αργό -37, ελευθερώνοντας ένα ηλεκτρόνιο. Κάθε δύο μήνες περίπου γίνεται επεξεργασία του υγρού της δεξαμενής και από τα αποτελέσματα που προκύπτουν υπολογίζεται ο αριθμός των νετρίνων που αλληλεπίδρασαν με τον τετραχλωράνθρακα. Από τότε που άρχισε το πείραμα, το 1970, μέχρι και σήμερα ο αριθμός των νετρίνων που καταμετρούνται είναι πολύ μικρότερος από τις θεωρητικές προβλέψεις. Το 1987 ο αντίστοιχος ιαπωνικός υπόγειος ανιχνευτής Kamiokande II επιβεβαίωσε το ίδιο απογοητευτικό αποτέλεσμα. Επίσης παρόμοια πειράματα που στηρίζονται σε διαφορετικές τεχνικές (ανιχνευτές γαλλίου κτλ.) καταλήγουν στο ίδιο συμπέρασμα.

Οι ερευνητές πιστεύουν ότι θα λύσουν το μυστήριο των «χαμένων» νετρίνων μέσα στα επόμενα χρόνια.

• Ο Ήλιος περνά περιόδους έντονης δραστηριότητας, κατά τις οποίες εμφανίζονται φαινόμενα μικρής χωρικής και χρονικής κλίμακας (κηλίδες, εκλάμψεις, προεξοχές, στεμματικές συμπυκνώσεις). Κατά την εξέλιξή τους εκλύονται μεγάλα ποσά ενέργειας. Τα φαινόμενα αυτά γενικά ακολουθούν έναν 11ετή κύκλο και είναι αποτέλεσμα της διαφορικής περιστροφής του Ηλίου και της τοπικής αύξησης των μαγνητικών του πεδίων.

• Η ηλιακή δραστηριότητα προκαλεί διαταραχές της ιονόσφαιρας, εξαιτίας των οποίων εμφανίζονται αρκετά εντυπωσιακά φαινόμενα πάνω στη Γη. Οι ιονοσφαρικές καταιγίδες, το πολικό σέλας και η διαστολή της γήινης ατμόσφαιρας είναι από τα πλέον σημαντικά.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποια είναι η πηγή της ηλιακής ενέργειας;
2. Ποια είναι η δομή του Ηλίου;
3. Τι είναι ο ηλιακός άνεμος;
4. Με ποιες μεθόδους παίρνουμε πληροφορίες για το εσωτερικό του Ηλίου; Γιατί δεν είναι δυνατή η απ' ευθείας ανίχνευση των φωτονίων που δημιουργούνται στο εσωτερικό του;
5. Ποια είναι η αιτία της ηλιακής δραστηριότητας και ποια φαινόμενα συνδέονται με αυτή;
6. Τι εννούμε με τον όρο «ηλιακός κύκλος»;
7. Γιατί είναι σημαντικό να ανιχνεύσουμε τα ηλιακά νετρίνα;
8. Ποιες πληροφορίες αντλούμε από την ανάλυση και επεξεργασία της ηλιακής ακτινοβολίας;
9. Ποιος είναι ο μηχανισμός σχηματισμού του πολικού σέλαος;

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Μετά το πέρας της δραστηριότητας αυτής θα μπορείτε:

• να παρατηρήσετε το φαινόμενο της «αμαύρωσης του χείλους».

• να προσδιορίσετε το ρυθμό περιστροφής του Ηλίου από παρατηρήσεις των ηλιακών κηλίδων.

Στο σχ. 1 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο προβάλλουμε το είδωλο του Ηλίου σε ένα άσπρο πέτασμα. Η προβολή αυτή μπορεί να γίνει και με ένα μικρό τηλεσκόπιο ή κιάλια, αφήνοντας ελεύθερο τον ένα μόνο φακό, ώστε να εισέρχεται το φως μόνο από αυτόν.

Σταθεροποιούμε λοιπόν το τηλεσκόπιο σε κατάλληλο σημείο (πάνω σε ένα τρίποδο για μεγαλύτερη σταθερότητα), ώστε να έχουμε ευκρινές είδωλο του Ήλιου. Για καλύτερα αποτελέσματα μπορείτε να τοποθετήσετε το τηλεσκόπιο στο πλαίσιο ενός χαρτονιού, ώστε στο άσπρο πέτασμα να προβάλλεται μόνο το είδωλο του Ηλίου από το τηλεσκόπιο.

Το ευκρινές είδωλο μπορεί να επιτευχθεί αυξομοιώνοντας την απόσταση τηλεσκοπίου-πετάσματος.

Κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεών σας θα χρειαστεί να αλλάζετε την κατεύθυνση του τηλεσκοπίου, ώστε να παρακολουθείτε έτσι την κίνηση του Ήλιου.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Ποτέ μη κοιτάζετε τον Ήλιο απευθείας με τηλεσκόπιο ή κιάλια. Ανεπανόρθωτες ζημιές θα προκληθούν στα μάτια σας, χωρίς ίσως να το καταλάβετε.

1η παρατήρηση

Να συγκρίνετε τη λαμπρότητα του κεντρικού τμήματος του ειδώλου του Ηλίου με αυτό του χείλους. Ποιο είναι πιο λαμπρό; Τι συμπεράσματα βγάζετε;

2η παρατήρηση

Βλέπετε κάποιες κηλίδες στην επιφάνεια του ειδώλου του Ηλίου. Αυτές τείνουν να σχηματίσουν ομάδες ή βρίσκονται ανεξάρτητα η μια από την άλλη;

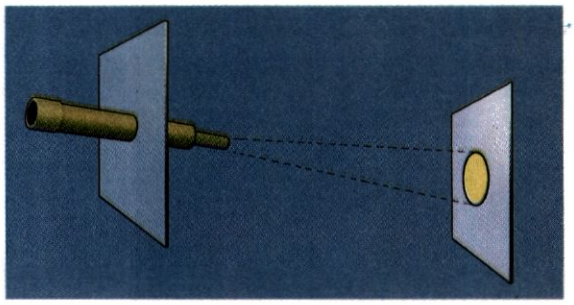
Να σημειώσετε σε ένα χαρτί τον ολικό αριθμό των κηλίδων που εμφανίζονται και να συγκρίνετε τον αριθμό αυτό με τις παρατηρήσεις σας κάποιες ημέρες αργότερα. Να επαναλάβετε τις παρατηρήσεις σας καθημερινά καταγράφοντας πάντα σε ένα χαρτί τις μετρήσεις σας.

Πώς θα μπορούσατε από τις παρατηρήσεις αυτές να προσδιορίσετε το ρυθμό περιστροφής των κηλίδων; Τι συμπέρασμα βγάζετε από αυτό;

2. Στο τέλος της δραστηριότητας αυτής θα μπορείτε:

• να μετρήσετε τη διάμετρο του Ηλίου.

• να προσδιορίσετε την επίδραση των διαστάσεων



Σχήμα 1

της συσκευής στη μέτρηση.

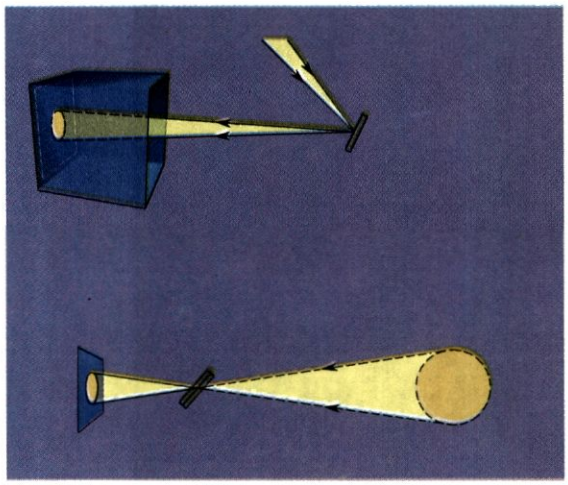
Κατασκευάστε ένα κουτί με μια μικρή τρύπα απ' όπου περνά το φώς και σχηματίζει στον απέναντι τοίχωμα το είδωλο ενός φωτεινού αντικειμένου. Με τον τρόπο αυτό εύκολα μπορεί κανείς να μετρήσει τη διάμετρο του Ηλίου. Όσο πιο μεγάλη είναι η «κάμερα» τόσο πιο ακριβείς είναι οι μετρήσεις. Στο σχ.2 φαίνεται ο τρόπος κατασκευής μιας παρόμοιας συσκευής. Σ' αυτήν το ρόλο της τρύπας τον παίζει ο καθρέφτης.

Προβάλλοντας λοιπόν το είδωλο του Ηλίου στο πίσω μέρος ενός κιβωτίου, όπως στο σχήμα, μπορείτε να προχωρήσετε στις μετρήσεις σας.

Απο τη γεωμετρία του σχήματος είναι φανερό ότι

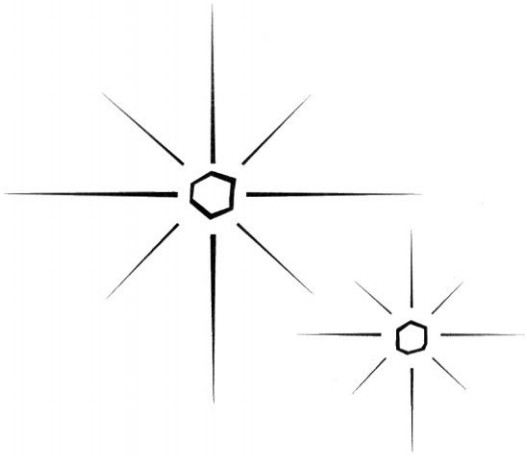
$$\frac{\text{διάμετρος Ηλίου}}{\text{απόσταση Ηλίου}} = \frac{\text{διάμετρος ειδώλου}}{\text{απόσταση ειδώλου}}$$

Με το δεδομένο ότι η μέση απόσταση του Ηλίου από τη Γη είναι 150 εκατομμύρια χιλιόμετρα περίπου, μπορείτε να υπολογίσετε τη διάμετρο του Ήλιου.



Σχήμα 2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ



ΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

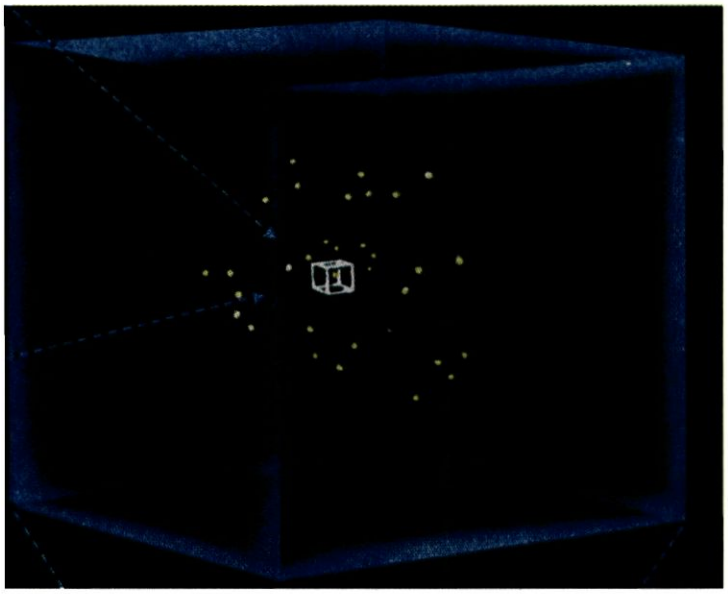
«Ύπνος δεν έπεσε στα βλέφαρά του, αλλά κοιτούσε συνεχώς την Πούλια,
τον Βουκόλο που δύει αργά, την Άρκτο που την λέν κι Αμάξι.
Δεν φεύγει από τη θέση της γυρίζοντας, μόνο παραμονεύει
τον Ωρίωνα, και μόνο αυτή δεν λέει να πέσει στα λουτρά του Ωκεανού.»

Ομήρου Οδύσεια, ραψωδία ε, στίχοι 271-275.

Μετάφραση Δ. Μαρωνίτης

Οι αστέρες που βλέπουμε με γυμνό μάτι στον ουρανό παρουσιάζουν ποικιλία ως προς τη λαμπρότητα και το χρώμα τους. Άλλοι είναι λαμπροί και άλλοι αμυδροί. Μερικοί φαίνονται ερυθροί και άλλοι κίτρινοι ή γαλάζιοι.

Η γένεση, η εξέλιξη και το τέλος των αστέρων συνδέονται με τα πιο εντυπωσιακά αστρονομικά φαινόμενα, όπως είναι οι λευκοί νάνοι, οι μαύρες τρύπες, οι εκρήξεις των υπερκαινοφανών αστέρων κ.ά.



Σχήμα. 5.1: Στο κέντρο του κύβου αυτού βρίσκεται ο Ήλιος. Οι πλησιέστεροι αστέρες βρίσκονται σε απόσταση της τάξης $7X10^6$ A.U., δηλαδή 7 εκατομμύρια φορές απ' όσο απέχει η Γη απ' αυτόν. Αν μπορούσαμε να παρατηρήσουμε τον Ήλιο από ένα από τους αστέρες, θα τον βλέπαμε σαν φωτεινό σημείο στον ουρανό. Είναι και αυτός ένας από τα δισεκατομμύρια των αστέρων του Γαλαξία μας.

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την εξέλιξη και τα φυσικά χαρακτηριστικά των αστέρων, δίνοντας απαντήσεις στα ερωτήματα:

- Πόσο μακριά βρίσκονται οι αστέρες;
- Ποια είναι τα φυσικά τους χαρακτηριστικά και πώς συνδέονται μεταξύ τους;
- Πώς δημιουργούνται και πως εξελίσσονται οι αστέρες;

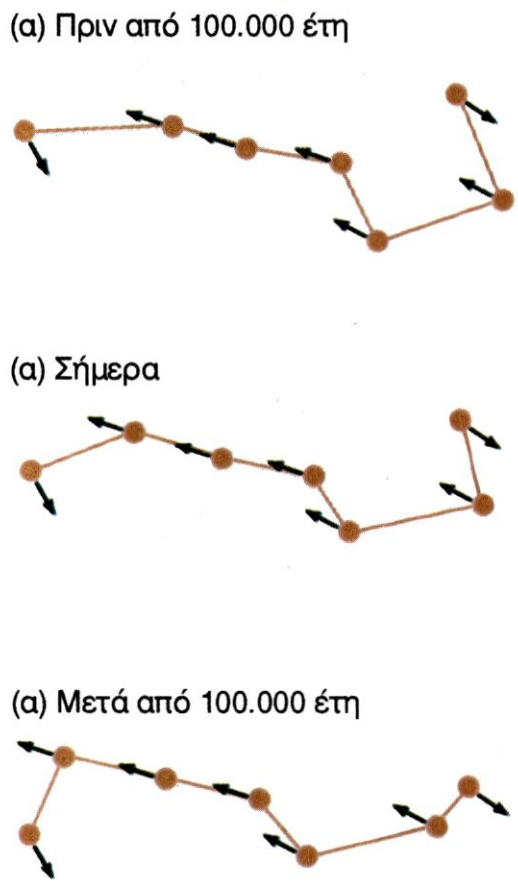
Στα περισσότερα από τα ερωτήματα που αφορούν τους αστέρες δόθηκαν απαντήσεις μόλις τα τελευταία 50 χρόνια.

5.1 ΟΙ ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΙ

Στην παράγραφο 2.3 ονομάσαμε αστερισμούς τους φαινομενικά αμετάβλητους σχηματισμούς αστέρων που παρατηρούμε στον ουρανό. Ωστόσο, το σχήμα και η θέση των αστερισμών στον ουρανό αλλάζει αργά με την πάροδο του χρόνου. Αυτό οφείλεται στην εξέλιξη των ίδιων των αστέρων-γένεση και θάνατο-αλλά και στις κινήσεις τους. Οι μεταβολές των αστερισμών δεν είναι άμεσα αντιληπτές, παρα μόνο σε πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα (σχ. 5.2).

Στα παραρτήματα υπάρχουν χάρτες που αντιστοιχούν σε διάφορες εποχές του χρόνου. Οι αστερισμοί που είναι επίσημα αναγνωρισμένοι αναφέρονται με τη διεθνή λατινική τους ονομασία. Συντομευμένα συμβολίζονται με τα τρία πρώτα γράμματα του ονόματός

Ο Ίππαρχος, ο πατέρας της Αστρονομίας.



Σχήμα 5.2: Η Μεγάλη Άρκτος όπως ήταν 100.000 χρόνια πριν, όπως είναι σήμερα και όπως θα είναι 100.000 χρόνια μετά, εξαιτίας των κινήσεων των αστέρων της.

τους. Έτσι, ο αστερισμός του Ταύρου γράφεται Taurus και συμβολίζεται Tau, του Ζυγού γράφεται Libra και συμβολίζεται Lib κλπ.

Οι αστέρες των αντίστοιχων αστερισμών αναφέρονται με ένα γράμμα του ελληνικού αλφαβήτου, που μπαίνει μπροστά από την ονομασία του αστερισμού όπου ανήκουν, ανάλογα με τη λαμπρότητά τους. Έτσι το πιο λαμπρό άστρο του αστερισμού του Ωρίωνα συμβολίζεται: α Orionis ή α Ori κ.ο.κ.

Οι αστέρες καταγράφονται σε ειδικούς αστρικούς καταλόγους, που δίνουν τις ουρανογραφικές τους συντεταγμένες (συντεταγμένες που καθορίζουν τη θέση τους πάνω στην ουράνια σφαίρα) ή δηλώνουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, για παράδειγμα αν πρόκειται για μεταβλητούς ή διπλούς αστέρες κ.ά.

Τον πρώτο κατάλογο αστερισμών συνέταξε ο μεγάλος Έλληνας αστρονόμος Ίππαρχος (2ος αιώνας π.Χ.) και περιείχε 1.022 ορατούς αστέρες. Βέβαια στον κατάλογο αυτόν, που δυστυχώς χάθηκε, περιλαμβάνονταν οι αστερισμοί μόνο του Βόρειου Ημισφαιρίου που οι αρχαίοι Έλληνες μπορούσαν να δουν, λόγω της θέσης της χώρας μας. Τα ονόματα των αστερισμών αυτών ήταν ονόματα θεών και ηρώων των αρχαίων Ελλήνων. Από τον 17ο αιώνα και μετά οι Ευρωπαίοι αστρονόμοι πρόσθεσαν διάφορους άλλους αστερισμούς καθώς και τους αστερισμούς του Νότιου Ημισφαιρίου με ονόματα πρακτικά και γεωμετρικά, όπως Αντλία, Εξάντας, Γνώμονας κλπ.

Το 1922 οι αστρονόμοι στην πρώτη τους διεθνή συνάντηση στη Ρώμη αναγνώρισαν 88 αστερισμούς και έθεσαν τα ακριβή τους όρια. Στον κατάλογο αυτόν υπάρχουν και οι 48 αστερισμοί των αρχαίων Ελλήνων με τα ονόματα που τους είχαν δώσει οι ίδιοι.

5.2 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ

ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ

Αν παρατηρήσουμε μια νύχτα χωρίς Σελήνη και σύννεφα τους αστέρες, εύκολα συμπεραίνουμε ότι δεν έχουν όλοι την ίδια λαμπρότητα. Οι αρχαίοι αστρονόμοι προσπάθησαν να βρουν έναν τρόπο, για να ταξινομήσουν τους αστέρες ανάλογα με το πόσο λαμπροί φαίνονταν, ή-

Σχήμα 5.3: Γνωστά ουράνια σώματα κατανεμημενα ανάλογα με το φαινόμενο μέγεθός τους. Η κλίμακα αυξάνει προς τους αρνητικούς αριθμούς, δηλαδή τα λαμπρότερα σώματα έχουν αρνητικό μέγεθος. Ο πρώτος που εισήγαγε την έννοια του μεγέθους ήταν ο Ίππαρχος.

με σημερινή ορολογία-ανάλογα με το φαινόμενο μέγεθός τους, που το συμβολίζουμε διεθνώς με το γράμμα m.

Το φαινόμενο μέγεθος[1] των αστέρων δεν εξαρτάται μόνο από την πραγματική τους λαμπρότητα ή φωτεινότητα (δηλαδή την ολική φωτεινή ενέργεια που εκπέμπει ο αστέρας στη μονάδα του χρόνου και σε όλα τα μήκη κύματος), αλλά και από την απόσταση του αστέρα από τον παρατηρητή. Για το λόγο αυτό οι αστρονόμοι προσδιορίζουν το φαινόμενο μέγεθος ενός αστέρα σε συγκεκριμένη απόσταση και το μέγεθος που βρίσκουν με τον τρόπο αυτό το ονομάζουν απόλυτο μέγεθος (M) του αστέρα. Η απόσταση αυτή έχει επιλεγεί αυθαίρετα και είναι ίση με 32,6 έτη φωτός.

[1]Φαινόμενο μέγεθος ενός ουράνιου αντικειμένου είναι ένα μέτρο της φαινόμενης λαμπρότητάς του. Συμβολίζεται με το γράμμα m και συνδέεται με τη φαινόμενη λαμπρότητα l με τη σχέση $m=2,5\log l + c$, όπου c είναι μια σταθερά που εξαρτάται από το όργανο (ανιχνευτή) παρατήρησης.

Η σχέση μεταξύ φαινόμενου και απόλυτου μεγέθους είναι η εξής :

$$m - M = 5 \log r - 5$$

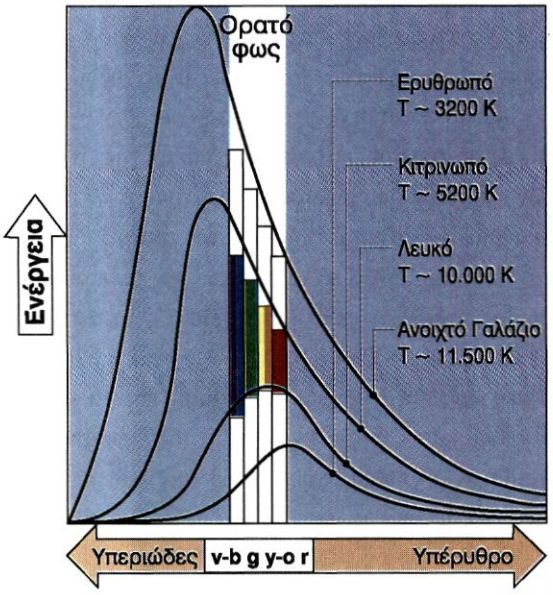
όπου r η απόσταση του αστέρα από τον παρατηρητή σε parsec (1 parsec=3,26 ε.φ.).

Μονάδες μέτρησης των αστρονομικών αποστάσεων

α) Η αστρονομική μονάδα (A.U.) είναι η μέση απόσταση Γης-Ηλίου και ισχύει: 1 A.U.=149.597.870 Km, ή με προσέγγιση: 1 A.U.=150.000.000 Km.
β) Το έτος φωτός (ε.φ.) είναι η απόσταση που διανύει το φως σε ένα έτος. Ισχύει 1 ε.φ.= 63.240 A.U = $9,46 \times 10^{12}$ Km.
γ) Το parsec (1pc) =3,26 ε.φ.= 206.265 A.U =$30,9 \times 10^{12}$ Km.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ - ΧΡΩΜΑ

Η προσεχτική παρατήρηση των αστέρων μας οδηγεί και σε μια ακόμα διαπίστωση, ότι, δηλαδή, έχουν διαφορετικά χρώματα: Μπλε (Ρίγκελ), μπλε-λευκό (Σείριος), λευκό, λευκοκίτρινο (Ήλιος), κίτρινο, ερυθροκίτρινο και κόκκινο (Μπετελγκέζ). Η αιτία της διαβάθμισης των χρωμάτων τους είναι η διαφορετική θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κάθε αστέρα. Οι θερμότεροι έχουν χρώμα μπλε, ενώ οι ψυχρότεροι κόκκινο.



Σχήμα 5.4: Η κατανομή της ενέργειας που εκπέμπουν γνωστοί αστέρες διάφορων επιφανειακών θερμοκρασιών σε όλες τις περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Η ακτινοβολία που εκπέμπει ένας, για παράδειγμα, κόκκινος αστέρας συνίσταται από φωτόνια με μήκη κύματος από όλη την περιοχή του ορατού φάσματος. Το μεγαλύτερο όμως ποσοστό της ενέργειας της ακτινοβολίας του μεταφέρεται από φωτόνια που έχουν μήκη κύματος στην περιοχή του ερυθρού (σχ. 5.4), γεγονός που οφείλεται στη χαμηλή θερμοκρασία του αστέρα (βλ. και κεφάλαιο 2).

Έτσι, τα φάσματα αστέρων διαφορετικής θερμοκρασίας είναι διαφορετικά μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι από το φάσμα ενός αστέρα μπορούμε να υπολογίζουμε τη θερμοκρασία της ατμόσφαιράς του.

ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ

Η μορφή των φασμάτων της ακτινοβολίας που εκπέμπουν οι αστέρες είναι παρόμοια με αυτή του Ηλίου. Γνωρίσαμε όμως (κεφ.2) ότι τα φάσματα των αστέρων παρουσιάζουν και διαφορές που οφείλονται στη διαφορετική τους θερμοκρασία και χημική σύσταση. Έτσι, οι αστέρες έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπουν. Από τους θερμότερους (χρώματος μπλε) προς τους ψυχρότερους (χρώματος κόκκινου) κατατάσσονται στους εξής φασματικούς τύπους:

O - B - A- F - G - K- M

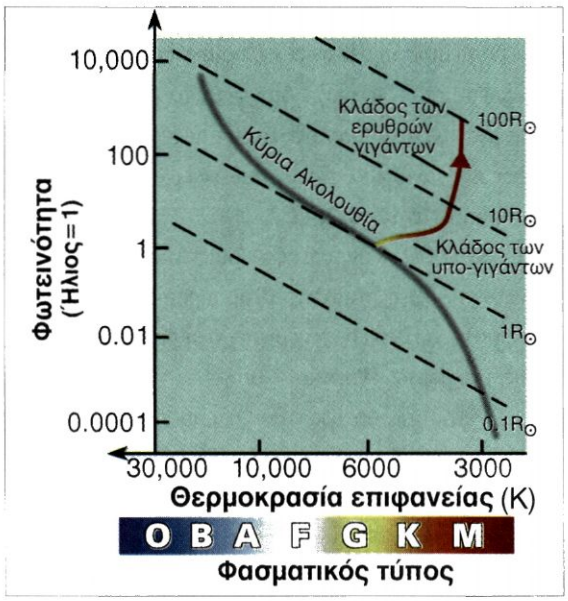
Οι αστρονόμοι διαίρεσαν περαιτέρω τους φασματικούς τύπους σε υποκατηγορίες -από τους θερμότερους στους ψυχρότερους- από το 0 έως το 9. Ο Ήλιος μας είναι φασματικού τύπου G2.

Η ποσότητα m-M καλείται μέτρο της απόστασης του αστέρα.
Αν m-M=0, τότε m=M και, συνεπώς, logr=1, δηλαδή r=10pc
Αν m-M=5, τότε 5logr-5=5, οπότε logr=2 και r=100pc

5.3 ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ H-R

Ένας αστέρας κατά τη διάρκεια της ζωής του εμφανίζει μεταβολές των φυσικών του χαρακτηριστικών. Πώς όμως μπορούμε να παρακολουθήσουμε την εξέλιξή του, αφού ο χρόνος ζωής του είναι δισεκατομμύρια χρόνια;

Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί με απλό τρόπο:



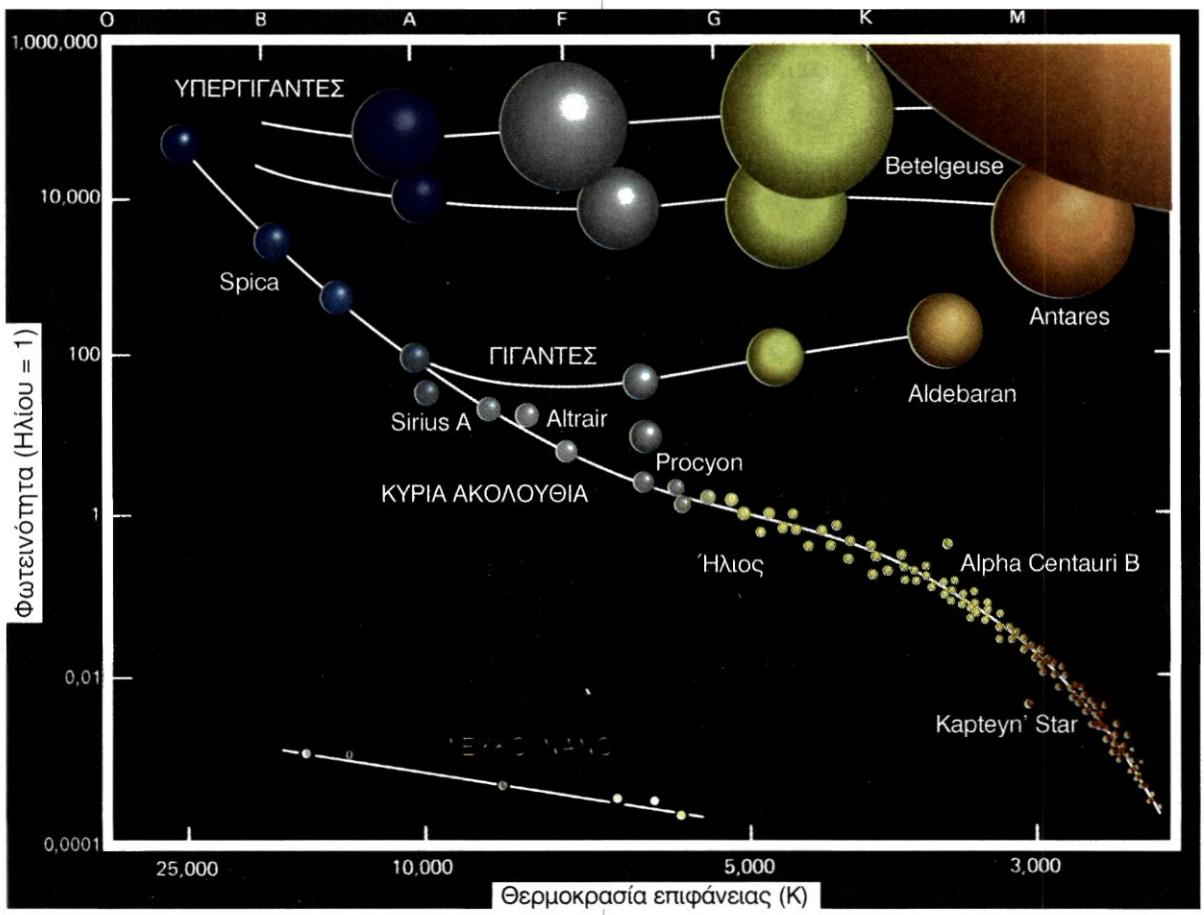
Σχήμα 5.5: Το διάγραμμα H-R ως συνάρτηση του φασματικού τύπου και της λαμπρότητας των αστέρων. Στο διάγραμμα αυτό επιπλέον υπάρχουν πλάγιες γραμμές που αντιστοιχούν σε αστέρες συγκεκριμένης ακτίνας. Είναι αξιοσημείωτο ότι αστέρες με ακτίνα ίση με 10 ηλιακές ακτίνες και φασματικού τύπου O είναι νάνοι αστέρες, ενώ, όταν για την ίδια ακτίνα ο φασματικός τύπος είναι G, ο αστέρας ανήκει στην κατηγορία των γιγάντων.

Αφού δεν μπορούμε να έχουμε στοιχεία για τα στάδια της ζωής **ενός** αστέρα, αρκεί να μελετήσουμε ένα **πλήθος** αστέρων, που βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια εξέλιξης.

Κάτι ανάλογο συμβαίνει, όταν μελετάμε μια μεγάλη τυχαία ομάδα ανθρώπων, όπου συναντάμε άτομα κάθε ηλικίας.

Πρώτος ο Δανός αστρονόμος Χέρτζσπρουνγκ (Hertzsprung) το 1911 και αργότερα ο Αμερικανός Ράσσελ (Russel) το 1913 εργάστηκαν με βάση αυτήν τη σκέψη. Διερεύνησαν λοιπόν, ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο, το ενδεχόμενο ύπαρξης κάποιας σχέσης μεταξύ της επιφανειακής θερμοκρασίας ή του φασματικού τύπου και της απόλυτης λαμπρότητας (ή φωτεινότητας) ή του απόλυτου μεγέθους των αστέρων. Σε ένα διάγραμμα με τετμημένες τις θερμοκρασίες των αστέρων

Σχήμα 5.6: Διάγραμμα H-R. Οι λευκές γραμμές δείχνουν τις διαφορετικές ομάδες γνωστών αστέρων του ουρανού. Στον οριζόντιο άξονα μετράμε τις θερμοκρασίες και στον κατακόρυφο τη φωτεινότητα. Οι διαστάσεις των αστέρων της ίδιας ομάδας είναι ανάλογες με τις πραγματικές, ενώ δεν ισχύει αυτό μεταξύ των αστέρων διαφορετικών ομάδων.



Υπάρχουν δύο ειδών διαγράμματα H-R:
α) Τα παρατηρησιακά διαγράμματα H-R: Είναι διαγράμματα στα οποία τοποθετούμε τα παρατηρησιακά χαρακτηριστικά των αστέρων και από τα οποία συνάγουμε άλλες φυσικές τους παραμέτρους (όπως ακτίνα, μάζα κλπ).
β) Τα θεωρητικά διαγράμματα H-R: Είναι διαγράμματα στα οποία αποτυπώνεται η θεωρητική εξελικτική πορεία των αστέρων με βάση τις τιμές των φυσικών τους χαρακτηριστικών. Με τα διαγράμματα αυτά προσπαθούμε να εξηγήσουμε το πώς και γιατί οι αστέρες ταξινομούνται σύμφωνα με τις τιμές των φυσικών τους χαρακτηριστικών που προκύπτουν από τις αστρονομικές παρατηρήσεις.

και τεταγμένες τις λαμπρότητές τους τοποθέτησαν τα παρατηρησιακά δεδομένα τους. Το διάγραμμα αυτό, γνωστό ως διάγραμμα θερμοκρασίας-φωτεινότητας ή συντομευμένα H-R (από τα αρχικά των ονομάτων των Hertzsprung και Russel), οδήγησε τους αστρονόμους σε πολύ σημαντικά συμπεράσματα και σηματοδότησε μια καινούργια εποχή για τη μελέτη των αστέρων (σχ. 5.5).

Αν εστιάσουμε λοιπόν την προσοχή μας στα διαγράμματα H-R των σχημάτων 5.5 και 5.6 θα διαπιστώσουμε τα εξής:

- Οι αστέρες δεν κατανέμονται ομοιόμορφα και τυχαία, αλλά ομαδοποιούνται σε τέσσερις βασικές περιοχές του διαγράμματος. Οι αστέρες κάθε ομάδας έχουν περίπου τις ίδιες μάζες και ακτίνες.
- Οι περισσότεροι αστέρες βρίσκονται κατά μήκος μιας ζώνης που διασχίζει διαγώνια το διάγραμμα και ονομάζεται **Κύρια Ακολουθία.** Οι αστέρες της Κύριας Ακολουθίας, ανάμεσα στους οποίους είναι και ο Ήλιος, ονομάζονται **νάνοι αστέρες.**

Στό κάτω δεξιό άκρο της Κύριας Ακολουθίας αντιστοιχούν αστέρες χαμηλής θερμοκρασίας (χρώματος κόκκινου), ενώ στο επάνω αριστερό άκρο αστέρες υψηλής θερμοκρασίας (χρώματος μπλε).

- Το 90% των αστέρων που βλέπουμε στον ουρανό ανήκουν στην Κύρια Ακολουθία. Είναι λοιπόν εύλογο να συμπεράνουμε ότι οι αστέρες περνούν τον περισσότερο χρόνο της ζωής τους ως νάνοι αστέρες.
- Πάνω και δεξιά από την Κύρια Ακολουθία είναι κατά σειρά **οι γίγαντες και οι υπεργίγαντες αστέρες.** Ονομάζονται έτσι, επειδή οι διαστάσεις τους είναι πολύ μεγάλες σε σχέση με τις διαστάσεις των αστέρων της Κύριας Ακολουθίας. Οι γίγαντες είναι πολύ περισσότεροι από τους υπεργίγαντες.
- Κάτω και αριστερά από την Κύρια Ακολουθία βρίσκονται οι **λευκοί νάνοι.** Οι λευκοί νάνοι, ενώ έχουν

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ

Παρατηρώντας τη Σελήνη τη βλέπουμε όπως ήταν περίπου 1 και 1/4 δευτερόλεπτα πριν, τον Ήλιο όπως ήταν περίπου 8 λεπτά πριν, όσο χρόνο, δηλαδή, χρειάζεται το φως που εκπέμπουν για να φτάσει στη Γη. Τι συμβαίνει όμως με τους αστέρες; Το φως από τον κοντινότερο αστέρα χρειάζεται 4,3 χρόνια να φτάσει σε μας, ενώ από τα πιο μακρινά ουράνια αντικείμενα χρειάζεται εκατομμύρια ή και δισεκατομμύρια χρόνια!

Ο προσδιορισμός των αποστάσεων των αστέρων από τη Γη γίνεται με διάφορους τρόπους. Η μέθοδος που ακολουθείται κάθε φορά εξαρτάται από το μέγεθος της απόστασης που θέλουμε να υπολογίσουμε.

Πώς μετράμε τις αποστάσεις των αστέρων από τη Γη;

α) Για να βρούμε τις αποστάσεις αστέρων που βρίσκονται αρκετά κοντά στο ηλιακό μας σύστημα –μέχρι 300 έτη φωτός– χρησιμοποιούμε την τριγωνομετρική μέθοδο.

Μετράμε, δηλαδή, τη γωνία με την οποία φαίνεται η ακτίνα της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο από έναν υποθετικό παρατηρητή που βρίσκεται στον αστέρα. Αυτό μπορεί να γίνει προσδιορίζοντας τις συντεταγμένες του αστέρα σε δύο ημερομηνίες που διαφέρουν μεταξύ τους κατά έξι μήνες, οπότε βρίσκουμε την **ηλιοκεντρική παράλλαξη π** του αστέρα (σχ. 5.7, 5.8).

Όταν η παράλλαξη ενός αστέρα είναι 1″, τότε η απόστασή του από τη Γη είναι εξ ορισμού ένα παρσέκ (pc= parcec, από το parallax και second). Η απόσταση αυτή χρησιμοποιείται και ως μονάδα μέτρησης των αποστάσεων των αστέρων.

β) Για τους αστέρες που βρίσκονται σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 300 έτη φωτός χρησιμοποιείται η μέθοδος της **φασματοσκοπικής παράλλαξης.** Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη μέτρηση της έντασης ορισμένων γραμμών του φάσματος του αστέρα, από την οποία προσδιορίζεται το φαινόμενο και το απόλυτο μέγεθός του. Τότε με τη βοήθεια της γνωστής μας σχέσης

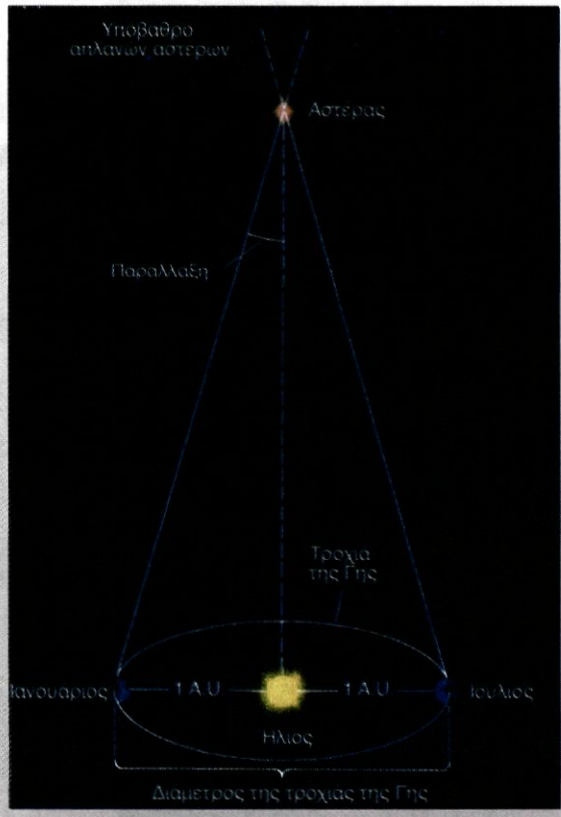
$$m - M = 5 \log r - 5$$

υπολογίζουμε την απόσταση r του αστέρα.

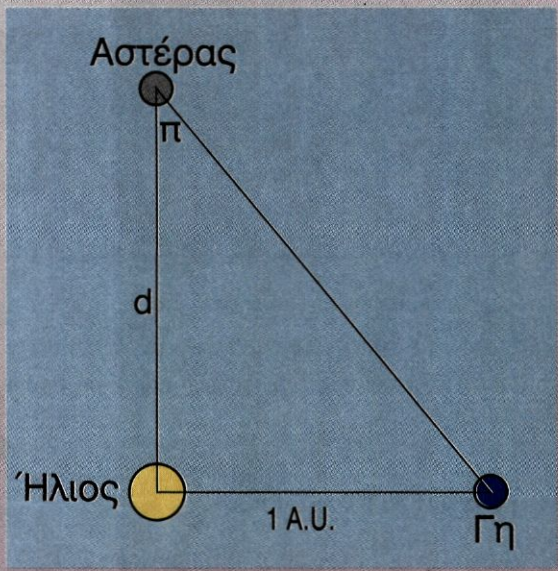
γ) Οι αποστάσεις των πλέον απομακρυσμένων αστέρων υπολογίζονται με συνδυασμό μεθόδων, που στηρίζονται κυρίως στη μέτρηση της φαινόμενης λαμπρότητας των μεταβλητών αστέρων (αστέρων, δηλαδή, που η λαμπρότητά τους μεταβάλλεται περιοδικά, εξαιτίας της περιοδικής μεταβολής των διαστάσεών τους και της θερμοκρασίας τους).

Το απόλυτο μέγεθος και κατ' επέκταση η απόσταση ενός μεταβλητού αστέρα από τη Γη σχετίζεται με την περίοδο της μεταβολής της λαμπρότητας του αστέρα και προσδιορίζεται μέσω αυτής.

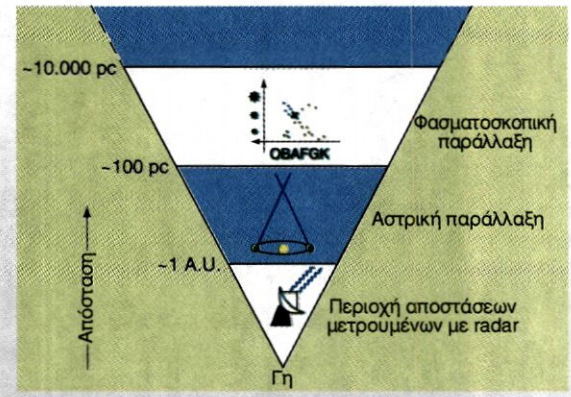
Με στόχο την ακριβή μέτρηση της παράλλαξης πολλών αστέρων το 1989 τέθηκε σε τροχιά το τηλεσκόπιο HIPPARCOS (High Precision Parallax Collecting Satellite). Από τα δεδομένα που συνέλεξε και έστειλε στη Γη οι επι-



Σχήμα 5.7: Το τόξο που διαγράφει ένας αστέρας σε χρονικό διάστημα 6 μηνών δίνει την παράλλαξή του. Αστέρες που βρίσκονται σε απόσταση 1 pc έχουν παράλλαξη 1 δευτερόλεπτο τόξου.



Σχήμα 5.8: Από το σχήμα έχουμε: εφπ=1A.U/d, και, επειδή η γωνία π είναι πολύ μικρή, ισχύει εφπ ≃ π (σε ακτίνια). Επομένως η προηγούμενη σχέση γράφεται: π=1AU/d ή σε δευτερόλεπτα τόξου π'' =206.265A.U./d, αφού 1ακτίνιο=206265''. Αν ορίσουμε 1 pc (παρσέκ)=206.265A.U., τότε έχουμε π'' = 1pc/d ή d=1/π, όπου το d δίνεται σε παρσέκ και το π σε δευτερόλεπτα τόξου.



Σχήμα 5.9: Οι τρόποι με τους οποίους υπολογίζονται οι αποστάσεις των αστέρων.

στήμονες κατάφεραν να υπολογίσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις αποστάσεις 100.000 αστέρων από τη Γη.

Οι αστέρες φαίνονται ακίνητοι στον ουρανό. Γι' αυτό και ονομάστηκαν από τους αρχαίους αστρονόμους απλανείς σε αντιδιαστολή με τους πλανήτες. Στην πραγματικότητα όμως οι αστέρες κινούνται ο ένας σε σχέση με τον άλλον. Λόγω όμως των τεράστιων αποστάσεών τους από τη Γη, η κίνησή τους δεν είναι άμεσα αντιληπτή. Αν ωστόσο συγκρίνουμε δύο φωτογραφίες της ίδιας περιοχής του ουρανού που ελήφθησαν με χρονική απόσταση μερικών ετών, τότε είναι δυνατό να διακρίνουμε τη σχετική τους μετατόπιση.

Για να μετρήσουμε την ταχύτητα ενός αστέρα, θα πρέπει να ορίσουμε ένα σύστημα αναφοράς. Ως σύστημα αναφοράς χρησιμοποιείται ο Ήλιος κατά τη φαινόμενη κίνησή του πάνω στην εκλειπτική.

Είναι το ίδιο σύστημα που πρώτος είχε χρησιμοποιήσει ο Ίππαρχος, για να μελετήσει τις κινήσεις των ουράνιων σωμάτων (σχ. 5.10).

Με νέα διαστημικά προγράμματα επιδιώκεται η συνεχής βελτίωση των γνώσεών μας για τις κινήσεις των αστέρων. Γίνεται μάλιστα προσπάθεια να μελετηθούν οι κινήσεις αυτές με σύστημα αναφοράς εξωγαλαξιακά αντικείμενα, που είναι φαινομενικά ακίνητα.

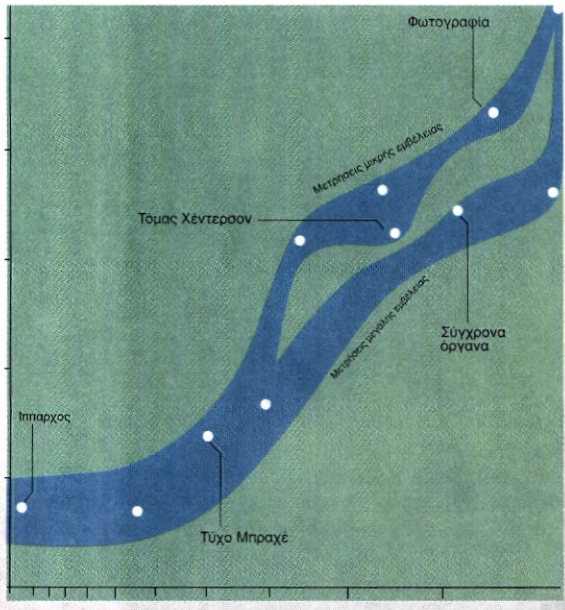
Πώς μετράμε την ακτινική ταχύτητα ενός αστέρα, γαλαξία, ή άλλου ουράνιου σώματος σε σχέση με τη Γη;

Η μέτρηση της ακτινικής ταχύτητας ενός ουράνιου σώματος σε σχέση με τη Γη γίνεται με βάση το **φαινόμενο Doppler:** Ένας παρατηρητής που λαμβάνει κύματα από μια πηγή κυμάτων διαπιστώνει μεταβολή στο μήκος και τη συχνότητα του κύματος που λαμβάνει, όταν η πηγή βρίσκεται σε σχετική κίνηση ως προς αυτόν.

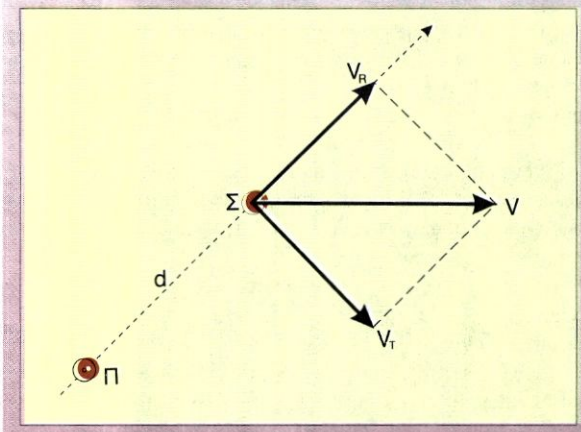
Ας υποθέσουμε ότι ένα φωτεινό σώμα **Σ** που είναι ακίνητο ως προς έναν παρατηρητή **Π** εκπέμπει ακτινοβολία, της οποίας το φάσμα φαίνεται στο σχήμα 5.12 α. Αν το ίδιο σώμα κινείται ως προς τον παρατηρητή, τότε το φάσμα της ακτινοβολίας που φτάνει σε αυτόν είναι διαφορετικό (σχ. 5.12 β, γ):

Αν το **Σ** απομακρύνεται από τον **Π** οι φασματικές γραμμές είναι μετατοπισμένες από τις θέσεις που είχαν στην εικόνα 5.12 α προς μεγαλύτερα μήκη κύματος (σχ. 5.12 β)- μετατόπιση προς το ερυθρό άκρο του φάσματος).

Αν το **Σ** πλησιάζει τον **Π**, οι φασματικές γραμμές μετα-



Εικόνα 5.10: Εδώ παρουσιάζεται η ακρίβεια των μετρήσεων από την εποχή του Ίππαρχου.



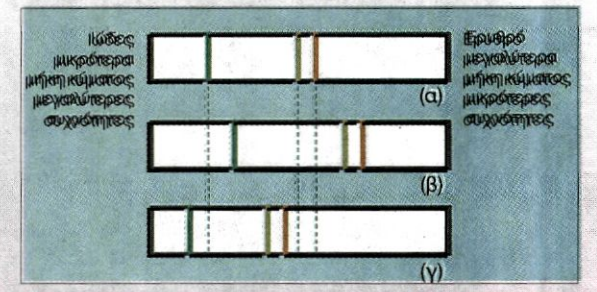
Σχήμα 5.11: Ακτινική ταχύτητα ενός αστέρα ως προς τη Γη είναι η ταχύτητα με την οποία απομακρύνεται από αυτή ή πλησιάζει προς αυτή.
V: η ταχύτητα του σώματος Σ ως προς τον παρατηρητή Π. V_R: η ακτινική ταχύτητα του Σ ως προς τον Π. Οι συνιστώσες V_R και V_T της V είναι κάθετες μεταξύ τους.

τοποθετούνται αντίθετα, προς μικρότερα μήκη κύματος (σχ. 5.12 γ) - μετατόπιση προς το ιώδες).

Το μέγεθος της παρατηρούμενης μεταβολής του μήκους κύματος **(Δλ)** είναι ανάλογο προς το μέτρο της ακτινικής ταχύτητας $\mathbf{V_R}$ του σώματος ως προς τον παρατηρητή. Αποδεικνύεται ότι ισχύει η σχέση:

$$\Delta\lambda/\lambda_0=V_R/c$$

όπου λ_0 είναι το μήκος κύματος της φασματικής γραμμής, όταν το σώμα και ο παρατηρητής βρίσκονται σε σχετική



ακινησία και c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Σχήμα 5.12: (α) Το φάσμα της ακτινοβολίας φωτεινού σώματος **Σ** ως προς έναν παρατηρητή **Π** ακίνητο ως προς αυτόν.
(β) Όταν το **Σ** απομακρύνεται από τον **Π,** οι φασματικές γραμμές μετατοπίζονται προς το ερυθρό.
(γ) Όταν το **Σ** πλησιάζει τον **Π,** οι φασματικές γραμμές μετατοπίζονται προς το ιώδες.

Από την προηγούμενη σχέση βλέπουμε ότι μετρώντας τη μεταβολή **Δλ** του μήκους κύματος λ_0 μιας φασματικής γραμμής, μπορούμε να υπολογίσουμε την ακτινική ταχύτητα $\mathbf{V_R}$ του φωτεινού σώματος **Σ** ως προς τον παρατηρητή **Π**:

$$V_R=(\Delta\lambda/\lambda_0)\cdot c$$

υψηλές θερμοκρασίες, όπως προκύπτει από το φάσμα τους είναι αμυδροί αστέρες, εξαιτίας των μικρών τους διαστάσεων.

5.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ

Η θεωρία για τη δημιουργία και την εξέλιξη των αστέρων κατέχει σημαντικότατη θέση ανάμεσα στα θαυμαστά επιτεύγματα της Αστρονομίας του 20ού αιώνα. Η γνώση μας για τις διάφορες φάσεις της ζωής ενός αστέρα από τη γένεσή του έως το τέλος του στηρίζεται σε θεωρητικά μοντέλα, οι προβλέψεις των οποίων έχουν γενικά επιβεβαιωθεί από τα παρατηρησιακά δεδομένα.

Η ΓΕΝΕΣΗ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ

Σύμφωνα με το επικρατέστερο μοντέλο, οι αστέρες δημιουργούνται από τη βαρυτική κατάρρευση μεσοαστρικών νεφών που αποτελούνται κυρίως από υδρογόνο. Το νέφος αρχίζει να συστέλλεται με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πυκνότητά του. Με την αύξηση της

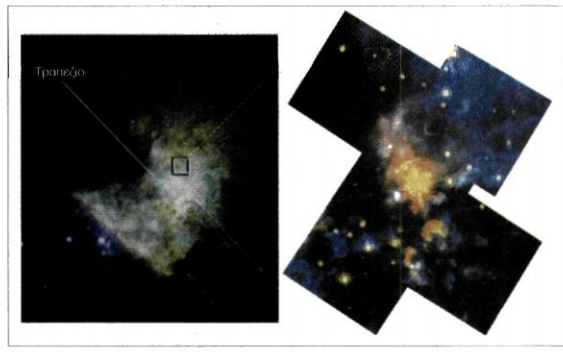
Μεσοαστρική ύλη: Η ύλη που υπάρχει στο διάστημα μεταξύ των αστέρων. Αποτελείται κυρίως από υδρογόνο και σε μικρότερες αναλογίες από άλλα στοιχεία σε κατάσταση αερίων ή σκόνης.

Βαρυτική κατάρρευση: Η συστολή ενός σώματος πολύ μεγάλης μάζας που οφείλεται στις έλξεις μεταξύ των σωματιδίων που το απαρτίζουν. Η κίνηση της ύλης κατά τη βαρυτική κατάρρευση γίνεται προς το κέντρο της μάζας του σώματος που καταρρέει. Στο φαινόμενο αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο ο σχηματισμός των γαλαξιών, των αστέρων και των πλανητικών συστημάτων. Ένα ωστικό κύμα που δημιουργείται από την έκρηξη ενός αστέρα μπορεί να πυροδοτήσει τη βαρυτική κατάρρευση ενός νέφους μεσοαστρικής ύλης. Καθώς το κύμα διαδίδεται συμπιέζει το νέφος και αυξάνει την πυκνότητά του.

πυκνότητας, το νέφος καταρρέει λόγω της βαρύτητας προς το κέντρο της μάζας του και ταυτόχρονα αρχίζει να περιστρέφεται.

Η ταυτόχρονη συστολή και περιστροφή σε πολλές περιπτώσεις προκαλούν τη διάσπαση του νέφους σε κομμάτια. Καθένα από αυτά τα κομμάτια –οι πρωτοαστέρες, όπως λέγονται– συνεχίζουν να καταρρέουν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο. Έτσι κάθε πρωτοαστέρας συστέλλεται διαρκώς. Η μάζα του συμπιέζεται σε όλο και μικρότερο χώρο, με αποτέλεσμα τη γρήγορη αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του. Αν η θερμοκρασία φτάσει τους 10^6 K, τότε αρχίζουν να πραγματοποιούνται στον πυρήνα του πυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης υδρογόνου σε ήλιο. Η ενέργεια που ελευθερώνεται προκαλεί δραματική αύξηση της εσωτερικής πίεσης του πρωτοαστέρα, που αντισταθμίζει τη βαρυτική του κατάρρευση.

Εικόνα 5.13: Η διαδικασία σχηματισμού ενός πρωτοαστέρα.



Εικόνα 5.14: Οι δύο φωτογραφίες δείχνουν το νεφέλωμα του Ωρίωνα που απέχει 1.500 ε.φ. από τη Γη και είναι το πλησιέστερο νεφέλωμα στο οποίο παρατηρείται γένεση νέων αστέρων. Η αριστερή φωτογραφία αντιστοιχεί στα οπτικά μήκη κύματος. Η δεξιά φωτογραφία δίνει την επιλεγμένη περιοχή στα υπέρυθρα μήκη κύματος. Φαίνονται αρκετοί ερυθροί αστέρες.

Η συστολή του πρωτοαστέρα σταματάει και δημιουργείται κατάσταση δυναμικής ισορροπίας[1]. Τότε λέμε ότι γεννήθηκε ένας αστέρας.

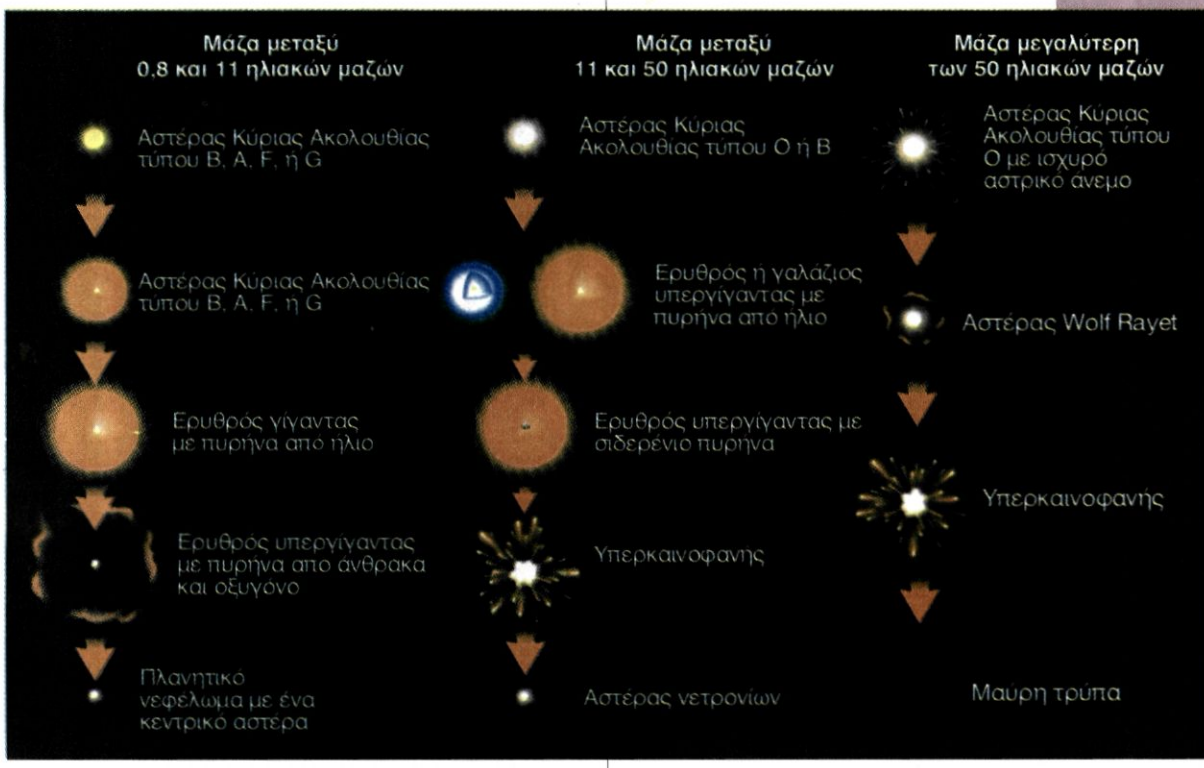
Χαρακτηριστική περιοχή γένεσης αστέρων είναι το Νεφέλωμα του Ωρίωνα, που βρίσκεται 1.500 έτη φωτός μακριά από τη Γη, στον ομώνυμο αστερισμό (εικ. 5.14).

ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ

Μια θεμελιώδης φυσική παράμετρος των αστέρων είναι και η μάζα τους που εκφράζεται με μέτρο σύγκρισης την ηλιακή μάζα. Έτσι υπάρχουν αστέρες 5 ηλιακών μαζών ή αστέρες 0,3 ηλιακών μαζών κ.ο.κ. Οι μεγαλύτεροι αστέρες που έχουν παρατηρηθεί φτάνουν τις 100 ηλιακές μάζες, ενώ οι μικρότεροι έχουν μάζες ίσες με το 1/10 της ηλιακής.

Εξέλιξη ενός αστέρα ονομάζουμε τις μεταβολές των φυσικών του χαρακτηριστικών σε συνάρτηση με το

[1] *Δυναμική ισορροπία: Κατάσταση ισορροπίας ενός συστήματος που επιτυγχάνεται από την αμοιβαία εξουδετέρωση διαδικασιών που εξελίσσονται προς αντίθετες κατευθύνσεις. Για παράδειγμα, η ισορροπία ενός αστέρα συμβαίνει, όταν η κατάρρευση της ύλης του λόγω βαρύτητας αντισταθμιστεί από την ενέργεια που παράγουν οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στο εσωτερικό του.*



Σχήμα 5.15: Η εξέλιξη αστέρων διαφορετικής μάζας.

χρόνο. Αιτία των μεταβολών είναι οι αλλαγές του είδους των πυρηνικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στο εσωτερικό του.

Η αρχική μάζα ενός αστέρα είναι καθοριστική για την εξέλιξή του. Οι αστέρες με μεγάλη μάζα ακολουθούν κύκλο ζωής εντελώς διαφορετικό από τους αστέρες με μικρή μάζα. Οι πρώτοι έχουν κύκλο ζωής που διαρκεί λίγες χιλιάδες χρόνια, με πολύ βίαιο τέλος, ενώ οι αστέρες μικρής μάζας παραμένουν σχεδόν «αμετάβλητοι» για εκατοντάδες εκατομμύρια ή δισεκατομμύρια χρόνια.

ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ

Οι δυνάμεις που αντιμάχονται στη διάρκεια της ζωής ενός αστέρα είναι δύο:

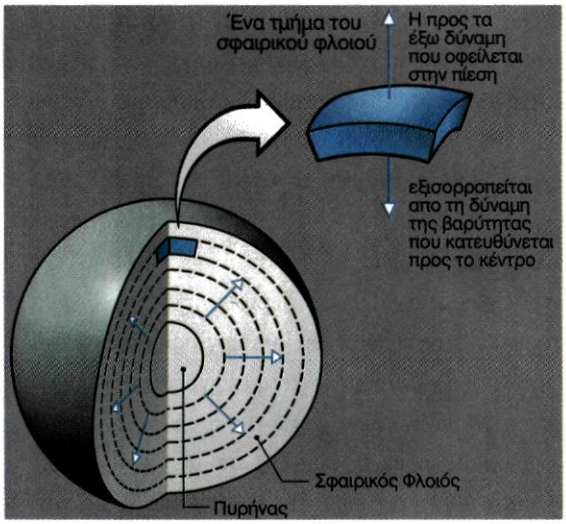
α) Η δύναμη της βαρύτητας, που έλκει προς το κέντρο του αστέρα την ύλη από την οποία αποτελείται.

β) Η δύναμη που αναπτύσσεται από τις πυρηνικές αντιδράσεις στον πυρήνα του, η οποία προέρχεται από την αύξηση της εσωτερικής πίεσης του αστέρα, λόγω της ενέργειας που ελευθερώνεται.

Αν υπήρχε μόνο η βαρύτητα, τότε ο αστέρας θα κατέρρεε μέσα σε λίγα λεπτά.

Αν υπήρχε μόνο η δύναμη από την εσωτερική του πίεση, αυτή θα προκαλούσε άμεση έκρηξη. Οι δύο αυτές δυνάμεις εξισορροπούνται μεταξύ τους στη διάρκεια του μεγαλύτερου τμήματος της ζωής ενός αστέρα. Η ισορροπία έχει ως επακόλουθο τη σταθεροποίηση όλων των φυσικών χαρακτηριστικών του αστέρα: της πίεσης, της θερμοκρασίας, των διαστάσεών του κτλ. (σχ. 5.16).

Η ισορροπία του αστέρα παρουσιάζει μεγάλη ευστάθεια. Αν διαταραχτεί για οποιονδήποτε λόγο, οι τιμές των μεγεθών που την προσδιορίζουν (πίεση, θερμοκρασία, ακτίνα, ρυθμός των πυρηνικών αντιδράσεων κτλ.) μεταβάλλονται έτσι, ώστε ο αστέρας να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση. Για παράδειγμα, αν στο εσωτερικό του παράγεται πλεόνασμα ενέργειας, προκαλείται εξαιτίας του αύξηση της πίεσης και διαστολή του αστέρα, με αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας του. Η ελάττωση της θερμοκρασίας προκαλεί με τη σειρά της μείωση του ρυθμού των πυρηνικών αντιδράσεων και τελικά ελάττωση της παραγόμενης ενέργειας. Αν πάλι για κάποιους άλλους λόγους μειωθεί η παραγόμενη ενέργεια, τότε προκαλείται συστολή του αστέρα και ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία.



Σχήμα 5.16: Οι δυνάμεις λόγω της βαρύτητας και της εσωτερικής πίεσης πρέπει να εξισορροπούνται σε κάθε στρώμα του αστέρα.

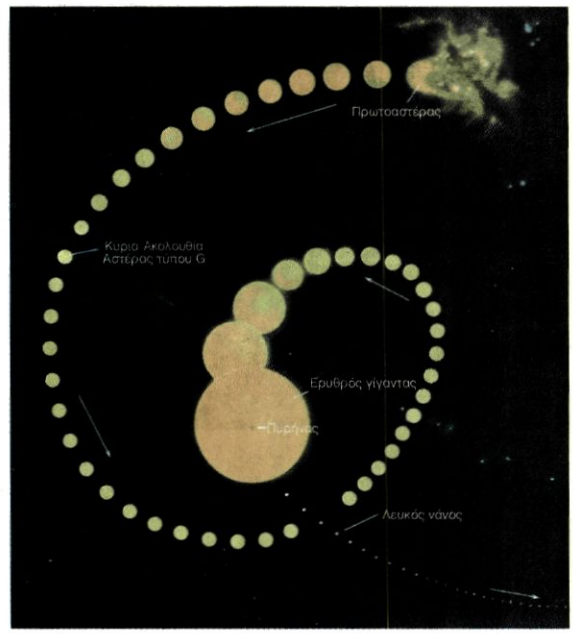
ΣΤΑΔΙΑ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΕΝΟΣ ΑΣΤΕΡΑ

Το χρονικό διάστημα από τη γένεση του πρωτοαστέρα μέχρι την έναρξη των πυρηνικών αντιδράσεων στο εσωτερικό του (και επομένως την είσοδό του στην Κύρια Ακολουθία του διαγράμματος H-R) αποτελεί **την πρώτη φάση της ζωής του.**

Η δεύτερη φάση της ζωής ενός αστέρα ή **φάση της Κύριας Ακολουθίας** είναι η περίοδος της ζωής του που έχει τη μεγαλύτερη διάρκεια. Το χαρακτηριστικό της φάσης αυτής είναι η «καύση» του υδρογόνου σε ήλιο στον πυρήνα του αστέρα. Ο Ήλιος μας βρίσκεται στη φάση αυτή εδώ και 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια, ενώ υπολογίζεται ότι θα παραμείνει σ' αυτή για άλλο τόσο χρονικό διάστημα.

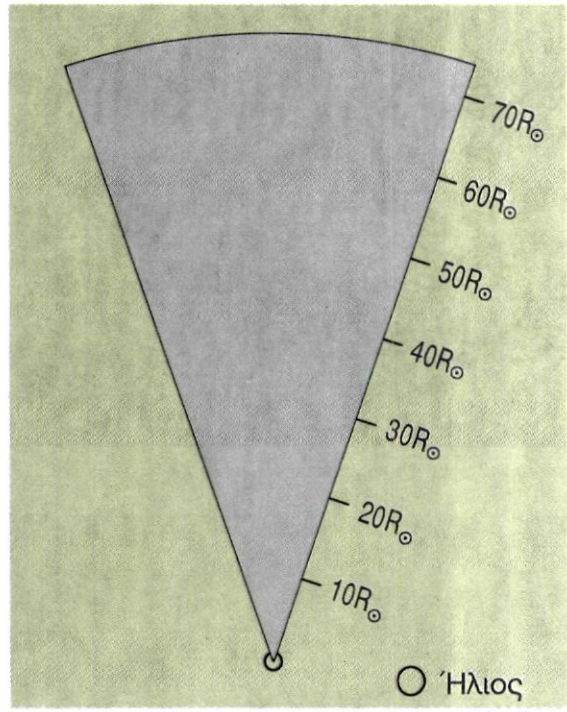
Ένας αστέρας με 10πλάσια μάζα από τη μάζα του Ηλίου παραμένει στην Κύρια Ακολουθία πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα, περίπου 50 εκατομμύρια χρόνια.

Εικόνα 5.17: Οι Πλειάδες ή Πούλια αποτελούνται από αστέρες νεαρής ηλικίας.

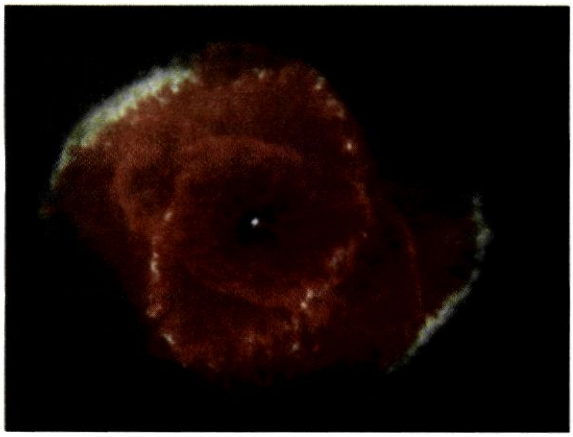


Σχήμα 5.18: Σχηματική αναπαράσταση της εξέλιξης του Ηλίου. Διακρίνονται: α) Ο σχηματισμός του πρωτοαστέρα από ένα μεσοαστρικό νέφος. β) Η είσοδος στη φάση της Κύριας Ακολουθίας με την έναρξη των πυρηνικών αντιδράσεων στον πυρήνα του. γ) Η μακρόχρονη διάρκεια της φάσης της Κύριας Ακολουθίας δ) Η φάση μετά την Κύρια Ακολουθία. Η μετατροπή του σε ερυθρό γίγαντα και τέλος σε λευκό νάνο.

Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής οι αστέρες εμφανίζουν μεγάλη σταθερότητα ως προς τα διάφορα φυσικά χαρακτηριστικά τους.



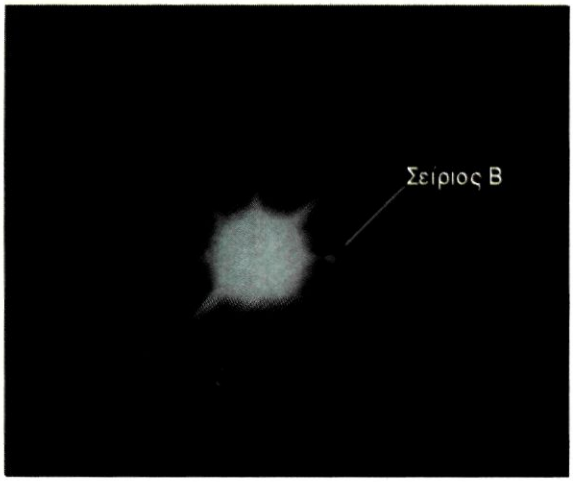
Σχήμα 5.19: Το σχετικό μέγεθος ενός ερυθρού γίγαντα 5 ηλιακών μαζών και του Ηλίου.



Εικόνα 5.20: Το πλανητικό νεφέλωμα Μάτι της Γάτας σε απόσταση 3.000 ετών φωτός στον αστερισμό του Δράκοντα. (Φωτογραφία από το HST).

Φάση μετά την Κύρια Ακολουθία. Η τρίτη αυτή φάση αναφέρεται στην εξέλιξη του αστέρα μετά την Κύρια Ακολουθία και είναι το πιο σύντομο στάδιο της ζωής του.

Μετά την εξάντληση του υδρογόνου η ισορροπία του αστέρα καταστρέφεται. Ο πυρήνας του αρχίζει πάλι να συστέλλεται λόγω βαρύτητας, η θερμοκρασία του ανεβαίνει και, όταν φτάσει περίπου στους 10^8 K, αρχίζει η πυρηνική καύση του ηλίου σε άνθρακα. Η έναρξη αυτής της καύσης συνοδεύεται από τρομερή έκλυση ενέργειας που προκαλεί δραματική διαστολή του αστέρα. Η διαστολή αυτή έχει αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας του και τη μετατόπιση του φάσματος της ακτινοβολίας του προς το ερυθρό. Ο αστέρας τότε μετατρέπεται σε έναν **ερυθρό γίγαντα.**



Εικόνα 5.21: Εικόνα του λευκού νάνου Σείριου Β.

Μάζα	1,1 ηλιακές μάζες
Ακτίνα	0,008 ηλιακές ακτίνες (5.500 Km)
Φωτεινότητα	0,04 ηλιακές φωτεινότητες
Θερμοκρασία επιφανείας	24.000
Μέση πυκνότητα	$3X10^9$ Kg/m^3

Αυτή είναι η πορεία που θα ακολουθήσει και ο Ήλιος. Στη φάση αυτή η ακτίνα του Ηλίου θα γίνει περίπου ίση με 1,1 A.U. και η Γη θα περιστρέφεται στα όρια της εξωτερικής του ατμόσφαιρας. Τότε η ατμόσφαιρα της Γης θα διαλυθεί και τα εξωτερικά στρώματα του φλοιού της θα αρχίσουν να εξατμίζονται. Η ακτίνα περιφοράς της Γης γύρω από τον Ήλιο θα μειώνεται σταδιακά λόγω της τριβής και σε λιγότερο από 200 χρόνια θα συγχωνευτεί με τον πυρήνα του. Η αυξανόμενη λαμπρότητα του Ηλίου θα εξατμίσει και τους υπόλοιπους εσωτερικούς πλανήτες, ενώ οι εξωτερικοί θα χάσουν τα παγωμένα εξωτερικά τους στρώματα, ώσπου να εμφανιστούν οι πετρώδεις πυρήνες τους.

Αν ο αστέρας έχει μάζα πολύ μεγαλύτερη από τη μάζα του Ηλίου, τότε, μετά την εξάντληση του στοιχείου ηλίου, ακολουθείται πάλι μια διαδικασία παρόμοια με την προηγούμενη: Ο πυρήνας συστέλλεται εκ νέου λόγω βαρύτητας, η θερμοκρασία του ανεβαίνει στους 10^9 K, οπότε αρχίζει η πυρηνική καύση του άνθρακα. Η ενέργεια που απελευθερώνεται είναι τώρα ακόμα μεγαλύτερη. Ο αστέρας διαστέλλεται και παίρνει τρομακτικές διαστάσεις. Γίνεται ένας **ερυθρός υπεργίγαντας.**

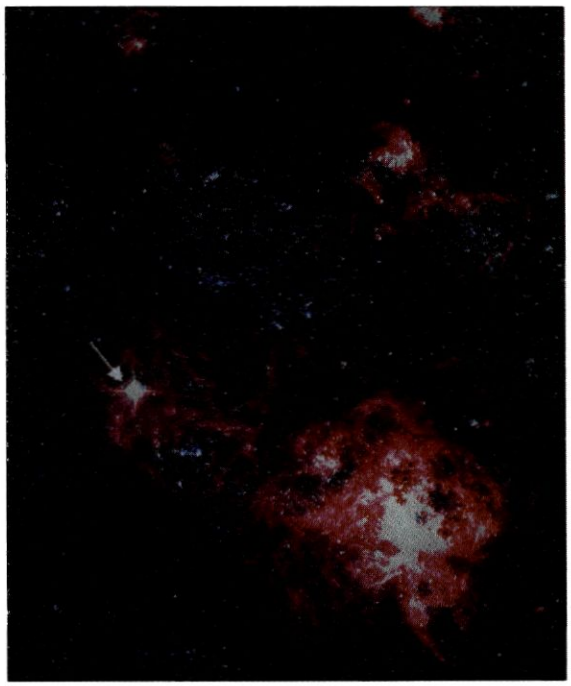
Τελικά στάδια της εξέλιξης. Το τελευταίο στάδιο της εξέλιξης ενός αστέρα είναι το πιο αβέβαιο. Η πορεία που θα ακολουθηθεί εξαρτάται από τη μάζα που έχει ο αστέρας.

Α. Λευκοί νάνοι

Οι αστέρες με μάζα περίπου ίση με τη μάζα του Ηλίου μετά το στάδιο του ερυθρού γίγαντα χάνουν σταδιακά μέσα σε 1.000 χρόνια περίπου το 10-20% της αρχικής τους μάζας, λόγω του πολύ ισχυρού αστρικού ανέμου που εκπέμπεται από την επιφάνεια του αστέρα.

Η ύλη που μεταφέρεται από τον αστρικό άνεμο σχηματίζει ένα **πλανητικό νεφέλωμα** (εικ. 5.20).

Στα τέλη του 1920 ο περίφημος Ινδός αστροφυσικός Chandrasekhar ανέπτυξε τη θεωρία των λευκών νάνων: Όταν εξαντληθεί το ήλιο, ο πυρήνας του αστέ-



Εικόνα 5.22: Ότι απέμεινε από την έκρηξη του υπερκαινοφανούς αστέρα SN1987A. Απόσταση 170.000 ε.φ.

ρα, που αποτελείται τώρα από άνθρακα, συρρικνώνεται πάλι λόγω βαρύτητας. Η μάζα όμως του αστέρα είναι σχετικά μικρή. Έτσι οι βαρυτικές δυνάμεις δεν είναι τόσο ισχυρές, ώστε η πίεση και η θερμοκρασία που προκαλούν να φτάσουν τις τιμές που απαιτούνται, για να ξεκινήσει η πυρηνική καύση του άνθρακα. Τελικά ο πυρήνας φτάνει σε μια κατάσταση όπου η ύλη βρίσκεται σε πλήρη ιονισμό.

Τα ελεύθερα πλέον ηλεκτρόνια σχηματίζουν ένα νέφος, που αναπτύσσει ισχυρή εσωτερική πίεση στον πυρήνα του αστέρα. Η πίεση του νέφους των ηλεκτρονίων αντισταθμίζει τη βαρυτική συστολή και έτσι ο αστέρας ισορροπεί. Μετατρέπεται σε ένα **λευκό νάνο.**

Στο εσωτερικό του λευκού νάνου δε συμβαίνουν πια θερμοπυρηνικές αντιδράσεις. Αυτός αποτελείται κυρίως από άνθρακα με κρυσταλλική δομή και συνεχίζει να εκπέμπει ακτινοβολία από την εσωτερική ενέργεια που περιέχει. Επειδή δεν έχει πηγές ενέργειας, ο λευκός νάνος σταδιακά ψύχεται, η ακτινοβολία που εκπέμπει μειώνεται και τελικά μετατρέπεται σε έναν καστανό και στη συνέχεια σε **μαύρο νάνο.**

Αυτή είναι η πορεία που θα ακολουθήσει και ο Ήλιος. Υπολογίζεται ότι χρειάζονται 10 δισεκατομμύρια χρόνια από τη διαδικασία σχηματισμού του μέχρι να γίνει λευκός νάνος. Υπολογίζεται επίσης ότι χρειά-

Πώς ένας αστέρας με μάζα πενταπλάσια ή δεκαπλάσια της μάζας του Ηλίου καταλήγει σε αστέρα νετρονίων;

Στους πυρήνες των αστέρων αυτών η θερμοκρασία που αναπτύσσεται μετά την «καύση» του ηλίου, λόγω της βαρυτικής συστολής, είναι εξαιρετικά υψηλή. Το γεγονός αυτό ευνοεί την πραγματοποίηση θερμοπυρηνικών αντιδράσεων, κατά τις οποίες ο άνθρακας μετατρέπεται τελικά σε σίδηρο.

Ο σχηματισμός σιδήρου σηματοδοτεί το τέλος της παραγωγής ενέργειας μέσω πυρηνικών αντιδράσεων. Για να πραγματοποιηθούν οι πυρηνικές αντιδράσεις του σιδήρου, **απαιτείται** και δεν παράγεται ενέργεια. Έτσι οι πυρηνικές αντιδράσεις σταματούν. Η πίεση του νέφους των ηλεκτρονίων δεν είναι αρκετά ισχυρή για να ανακόψει τη βαρυτική συστολή. Η βαρύτητα χωρίς ανταγωνιστή προκαλεί κατάρρευση του πυρήνα σε κλάσμα του δευτερολέπτου, με ταχύτητες που φτάνουν το 15 - 30% της ταχύτητας του φωτός. Η πυκνότητα του πυρήνα αυξάνει υπερβολικά, καθώς οι διαστάσεις του μειώνονται εκπληκτικά. Για παράδειγμα, ένας υποθετικός αστέρας με διάμετρο αντίστοιχη της Γης θα κατέληγε σε αντικείμενο διαμέτρου μόλις 50 mm.

Όταν η πυκνότητα του πυρήνα, γίνει πολύ μεγαλύτερη από αυτή του λευκού νάνου, τα πρωτόνια και τα νετρόνια απελευθερώνονται από τους πυρήνες των ατόμων. Τα ηλεκτρόνια συγχωνεύονται με τα πρωτόνια και τα μετατρέπουν σε νετρόνια. Δημιουργείται έτσι ένα αέριο νετρονίων, του οποίου η πίεση είναι ικανή να σταματήσει απότομα την κατάρρευση του πυρήνα.

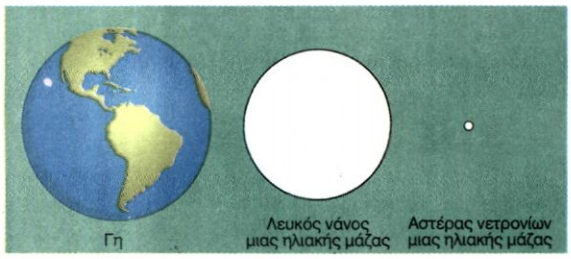
Το υλικό των ανώτερων στρωμάτων του αστέρα, που συνεχίζει να καταρρέει, συγκρούεται με τον πυρήνα και αναπηδά. Αυτή η κατάσταση δημιουργεί ένα ισχυρότατο ωστικό κύμα που προκαλεί φοβερή έκρηξη, γνωστή με τον όρο έκρηξη *υπερκαινοφανούς τύπου ΙΙ.* (Άλλου τύπου έκρηξη υπερκαινοφανούς συμβαίνει σε συστήματα διπλών αστέρων με διαφορετικούς μηχανισμούς και είναι γνωστή ως έκρηξη τύπου Ι).

Η ενέργεια που εκλύεται κατά την έκρηξη υπερκαινοφανούς εκπέμπεται στο διάστημα με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και με τη μορφή νετρίνων. Μόνον η ενέργεια της Η/Μ ακτινοβολίας ισοδυναμεί με τη συνολική ενέργεια που εκπέμπει ο Ήλιος μας σε όλη τη διάρκεια της ζωής του. Η μέγιστη λαμπρότητα ενός υπερκαινοφανούς ισοδυναμεί με τη συνολική λαμπρότητα 10 δισεκατομμυρίων ηλίων, ίδιων με το δικό μας Ήλιο.

Το υπόλειμμα της έκρηξης ενός αστέρα μεσαίας κατηγορίας είναι ο πυρήνας του, ο οποίος, όπως είδαμε, αποτελείται από νετρόνια. Έχει έτσι σχηματιστεί ένας **αστέρας νετρονίων.**

Συνήθως η μάζα ενός αστέρα νετρονίων είναι ίση με 1,5 - 2,0 ηλιακές. Η διάμετρός του είναι 15 - 20 Km, δεν ξεπερνάει δηλαδή τη διάμετρο μιας μικρής πόλης!

Όταν οι αστέρες νετρονίων περιστρέφονται ονομάζονται πάλσαρς (pulsars) και εκπέμπουν περιοδικά ραδιοκύματα. Ο πρώτος pulsar παρατηρήθηκε από μια μεταπτυχιακή φοιτήτρια του Cambridge, η οποία τον Νοέμβριο του 1967 ανακάλυψε μία περίεργη περιοδική πηγή ραδιοκυμάτων. Στην αρχή φαντάστηκε ότι επρόκειτο για σήματα από εξωγήινο πολιτισμό. Σύντομα όμως ανιχνεύτηκαν τρεις ακόμα παρόμοιες ραδιοπηγές και έτσι έγινε φανερό ότι οι αιτίες της ραδιοεκπομπής ήταν φυσικές.



Σχήμα 5.23: Τα σχετικά μεγέθη της Γης ενός λευκού νάνου και ενός αστέρα νετρονίων μιας ηλιακής μάζας.

ζεται το ίδιο χρονικό διάστημα, για να μετατραπεί από λευκός σε μαύρο νάνο. Όταν ο Ήλιος μας καταλήξει σε λευκό νάνο, θα έχει περίπου το μέγεθος της Γης και πυκνότητα 10^9 Kg/m^3 (σημειώστε ότι η σημερινή πυκνότητα του Ηλίου είναι μόλις 1.400 Kg/m^3 και της Γης 5.500 Kg/m^3!).

Β. Αστέρες νετρονίων

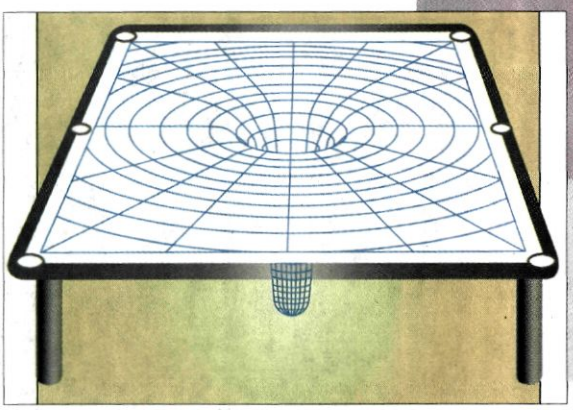
Οι αστέρες των οποίων οι μάζες κυμαίνονται από 5 έως 10 ηλιακές μάζες περνούν από τη φάση του ερυθρού γίγαντα δύο φορές. Όπως εξηγήθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, αυτό γίνεται με τις διαδοχικές πυροδοτήσεις της πυρηνικής καύσης του ηλίου και του άνθρακα.

Μετά από μια βίαιη έκρηξη, που ονομάζεται έκρηξη **υπερκαινοφανούς αστέρα,** καταλήγουν σε αστέρες νετρονίων. Οι τελευταίοι αποτελούνται κατά κύριο λόγο από νετρόνια. Έχουν εξαιρετικά μεγάλη πυκνότητα και η διάμετρός τους είναι μόλις περί τα 10 Km. Οι αστέρες νετρονίων εμφανίζουν πολύ ισχυρό βαρυτικό και μαγνητικό πεδίο.

Γ. Μελανές οπές

Τέλος, στους αστέρες μεγάλης μάζας –πάνω από 20 ηλιακές μάζες– η πίεση του νετρονικού νέφους δεν είναι ικανή να ανακόψει τη βαρυτική κατάρρευση του πυρήνα τους. Οι αστέρες αυτοί, αφού περάσουν από το στάδιο του υπεργίγαντα, μετά την έκρηξη υπερκαινοφανούς καταλήγουν σε **μελανές οπές** ή, όπως συνήθως λέγονται, **μαύρες τρύπες.** Πρόκειται για αντικείμενα των οποίων η πυκνότητα θεωρητικά τείνει στο άπειρο και οι γνωστές υλικές δομές καταστρέφονται.

Η πρόβλεψη της ύπαρξης και η έμμεση παρατήρηση των μελανών οπών θεωρείται ότι είναι ένα από τα πιο σύγχρονα επιτεύγματα της Κοσμολογίας. Παρ' όλα αυτά, πρώτος ο γάλλος μαθηματικός Λαπλάς το 1796 ανέφερε ότι, σύμφωνα με τη θεωρία της παγκόσμιας έλξης του Νεύτωνα, θα πρέπει αστέρες μεγάλης μάζας να καμπυλώνουν ισχυρά το φως και, επομένως, να μη μπορούμε να τους δούμε. Βέβαια μόνο στα πλαίσια της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας του Αϊνστάιν είναι δυνατή η ακριβής θεωρητική περιγραφή των αντικειμένων αυτών και των ιδιοτήτων τους.



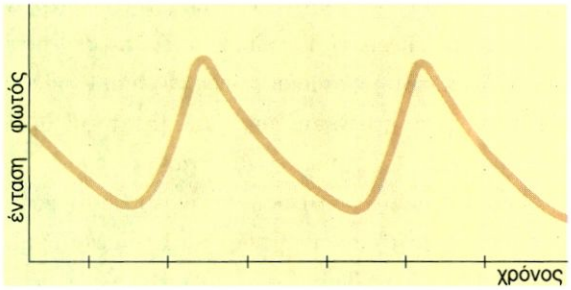
Σχήμα 5.24: Σχηματική αναπαράσταση της αλλοίωσης της περιοχής γύρω από μια μαύρη τρύπα.

Οι μαύρες τρύπες είναι μια αινιγματική κατάσταση του χώρου και του χρόνου. Το βαρυτικό πεδίο κοντά σε αυτές είναι τόσο ισχυρό, ώστε δεν μπορεί να διαφύγει ούτε το φως. Για το λόγο αυτό οι μελανές οπές δεν είναι άμεσα ορατές (γεγονός από το οποίο προέρχεται και το όνομά τους).

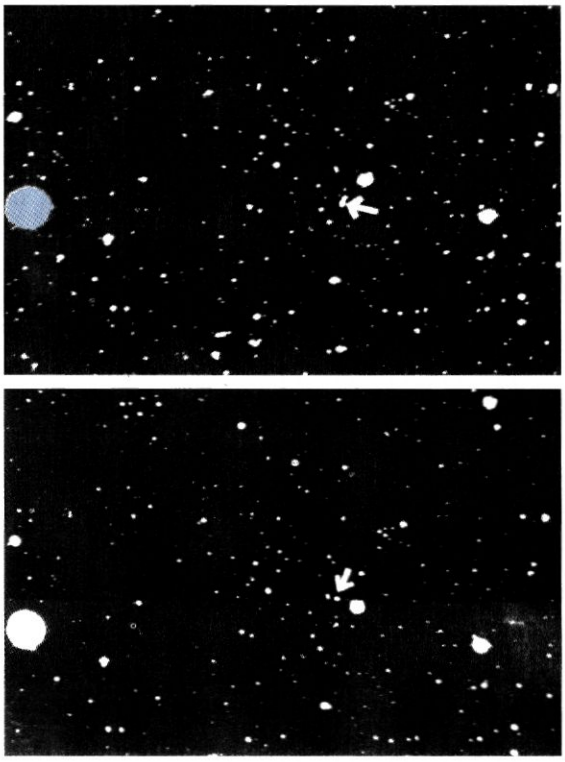
Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ

Ένας αστέρας λοιπόν εξελίσσεται, λόγω των διαφορετικών ειδών πυρηνικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στον πυρήνα του στη διάρκεια της ζωής του. Ο καθοριστικός παράγοντας που προσδιορίζει τις μελλοντικές του καταστάσεις είναι η αρχική του μάζα και η χημική του σύσταση.

Ο θάνατος των αστέρων παίζει έναν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στον κύκλο ζωής των γαλαξιών, αλλά και γενικότερα του Σύμπαντος, όπως θα δούμε λεπτομερέστερα στο κεφάλαιο 9.



Σχήμα 5.25: Η καμπύλη της έντασης του φωτός ενός περιοδικού μεταβλητού αστέρα.



Εικόνα 5.26: Οι αστέρες R, S του Σκορπιού. Οι δύο αυτοί αστέρες δείχνουν αξιοσημείωτες μεταβολές φωτός. Άλλοτε χάνονται εντελώς και άλλοτε γίνονται εμφανείς. Φωτογραφίες του ίδιου αστρικού πεδίου που έχουν ληφθεί σε διαφορετικούς χρόνους.

Εικόνα 5.27: Ο υπερκαινοφανής 1987Α.

Κατά την έκρηξη των υπερκαινοφανών αστέρων τα χημικά στοιχεία που είχαν σχηματιστεί από τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στον πυρήνα τους εκτοξεύονται στο διάστημα. Εμπλουτίζουν με τον τρόπο αυτό τη μεσοαστρική ύλη με άτομα χημικών στοιχείων κάθε είδους. Από την εμπλουτισμένη μεσοαστρική ύλη δημιουργούνται νέοι αστέρες και πλανητικά συστήματα που έχουν πιο σύνθετη χημική σύσταση από τα παλαιότερα. Τα χημικά στοιχεία που συναντάμε σήμερα στη Γη γεννήθηκαν στον πυρήνα κάποιου αστέρα που εξερράγη πριν από δισεκατομμύρια χρόνια.

Οι νεότεροι αστέρες, στους οποίους ανήκει και ο Ήλιος, και οι οποίοι έχουν σχηματιστεί από εμπλουτισμένη με βαρύτερα στοιχεία μεσοαστρική ύλη λέμε ότι αποτελούν τον *«Πληθυσμό αστέρων τύπου Ι»*. Σε αντιδιαστολή με την ομάδα αυτή οι παλαιότεροι αστέρες, που πρώτοι δημιουργήθηκαν στο Γαλαξία μας, αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από υδρογόνο και ήλιο. Η ομάδα των γηραιότερων αστέρων αποκαλείται *«Πληθυσμός αστέρων τύπου ΙΙ»*.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι δύο πληθυσμοί αστέρων διαφέρουν μεταξύ τους σε ηλικία και χημική σύσταση. Απαντώνται σε διαφορετικές περιοχές του Γαλαξία.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

Όπως είδαμε, οι αστέρες κατά τη διάρκεια της ζωής τους περνούν περιόδους αργών μεταβολών, αλλά και περιόδους που χαρακτηρίζονται από γρήγορες και εντυπωσιακές μεταβολές. Στις περιόδους πρεμίας εμφανίζονται ως κανονικοί αστέρες, ενώ στις περιόδους έντονων μεταβολών ως μεταβλητοί αστέρες.

Οι μεταβλητοί αστέρες διακρίνονται σε φυσικούς μεταβλητούς και σε εκλειπτικούς μεταβλητούς. Στους φυσικούς μεταβλητούς η μεταβολή της λαμπρότητας οφείλεται σε φυσικά αίτια. Στους εκλειπτικούς μεταβλητούς η παρατηρούμενη μεταβολή της λαμπρότητας οφείλεται σε φαινόμενα έκλειψης του ενός αστέρα από έναν άλλο με τον οποίο αποτελούν μαζί ένα ζεύγος αστέρων.

Οι φυσικοί μεταβλητοί διακρίνονται: α) **Σε παλλόμενους μεταβλητούς**, που η μεταβολή της λαμπρότητάς τους οφείλεται σε περιοδικές αναπάλσεις (συστολή και διαστολή) της ατμόσφαιράς τους. β) Σε **εκρηκτικούς μεταβλητούς**, που χαρακτηρίζονται από απότομες και βίαιες μεταβολές.

Οι πιο σημαντικοί μεταβλητοί αστέρες της πρώτης κατηγορίας είναι οι **Κηφείδες,** που συμπληρώνουν τη μεταβολή της λαμπρότητάς τους σε μερικές ώρες ή μέρες. Η μεταβολή αυτή δείχνει μεγάλη κανονικότητα και η περίοδός της σχετίζεται με το απόλυτο μέγεθός τους (εικ. 5.25).

Στην κατηγορία των **εκρηκτικών μεταβλητών** ανήκουν αστέρες που παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδια-

Εικόνα 5.28: Το σφαιρωτό σμήνος του Ηρακλή σε απόσταση 28.000 ε.φ και με διάμετρο 200 ε.φ. Η μελέτη των σμηνών αποτελεί σημαντική πηγή ελέγχου των θεωριών της αστρικής εξέλιξης, διότι περιέχουν αστέρες ίδιας ηλικίας και χημικής σύστασης, αλλά διαφορετικής μάζας.

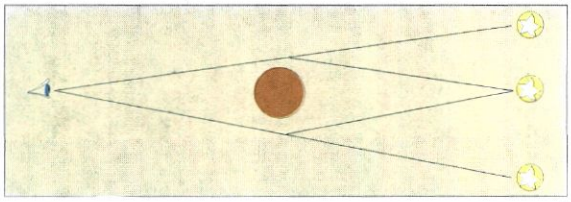
φέρον. Τέτοιοι είναι οι **καινοφανείς αστέρες** ή **novae.** Οι αστέρες αυτοί, ενώ είναι πολύ αμυδροί, μέσα σε λίγες ώρες ή ημέρες γίνονται περίπου 10^5 φορές φωτεινότεροι, με αποτέλεσμα να φαίνονται με γυμνό μάτι ως αστέρες πρώτου μεγέθους. Πιστεύεται ότι αυτό συμβαίνει, επειδή γίνονται εκρήξεις στις επιφανειακές στιβάδες του αστέρα. Αν η φωτεινότητα τους γίνει 10^8 φορές μεγαλύτερη, τότε φαίνονται και την ημέρα. Αυτοί είναι οι **υπερκαινοφανείς** ή **supernovae.** Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε έκρηξη των αστέρων και διαστολή της θερμής ύλης τους. Η δεύτερη βέβαια περίπτωση αναφέρεται σε φαινόμενα ασύγκριτα μεγαλύτερης κλίμακας.

Πώς παρατηρούμε τις μαύρες τρύπες;

Ξέρουμε ότι οι μαύρες τρύπες δεν επιτρέπουν στο φως να ξεφύγει από αυτές. Ίσως, εύλογα κάποιος σκεφτεί ότι δεν μπορούμε να τις ανιχνεύσουμε. Η ανίχνευσή τους είναι ωστόσο δυνατή με διάφορους έμμεσους τρόπους στις εξής περιπτώσεις:

Α) Περίπτωση που η μαύρη τρύπα αποτελεί τμήμα διπλού αστέρα: Τότε θερμό υλικό από τον άλλο αστέρα του ζεύγους έλκεται από τη μαύρη τρύπα και απορροφάται από αυτήν. Κατά την κίνησή τους προς τη μαύρη τρύπα τα σωματίδια του υλικού αποκτούν πολύ μεγάλες επιταχύνσεις, με αποτέλεσμα να εκπέμπουν ακτίνες Χ. Τέτοιου είδους πηγές ακτίνων Χ έχουν προσδιοριστεί από το δορυφόρο Uhuru ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Η πρώτη πηγή ακτίνων Χ που αποδείχτηκε ότι οφείλεται στο φαινόμενο που περιγράψαμε ονομάστηκε Κύκνος Χ-1. Η Κύκνος Χ-1 προέρχεται από ένα ζεύγος αστέρων που αποτελείται από μια μαύρη τρύπα και τον υπεργίγαντα HDE 226868.

Β) Περίπτωση παρατήρησης εκτροπής του φωτός, όταν διέρχεται κοντά από μια μαύρη τρύπα: Το φαινόμενο αυτό προβλέπεται από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν. Καθώς οι ακτίνες του φωτός πλησιάζουν τη μαύρη τρύπα, καμπυλώνονται λόγω του ισχυρού βαρυτικού της πεδίου. Το αποτέλεσμα είναι ότι ο επίγειος παρατηρητής βλέπει δύο εικόνες του αστέρα. Η μαύρη τρύπα λειτουργεί σαν ένας βαρυτικός φακός.



Η ιστορία του υπερκαινοφανούς SN1987 A

Οι πρώτοι υπερκαινοφανείς αστέρες παρατηρήθηκαν από τη Γη το 1054 και το 1572. Ήταν ένας υπερκαινοφανής στο Νεφέλωμα του Καρκίνου και ο αστέρας του Tycho Brahe, αντίστοιχα. Τα υπολείμματα των εκρήξεων αυτών είναι και σήμερα ορατά σαν διαστελλόμενα μεσοαστρικά νέφη. Η έκρηξη στο νεφέλωμα του Καρκίνου έγινε 6.500 χρόνια πριν την παρατήρησή της. Δηλαδή τόσα χρόνια, όσα απαιτήθηκαν για να ταξιδέψει το φως του αστέρα μέχρι τη Γη. Ο υπερκαινοφανής αυτός ήταν τόσο λαμπρός, που ακόμα και την ημέρα ήταν ορατός.

Η παρατήρηση υπερκαινοφανών είναι ένα σπάνιο φαινόμενο για το Γαλαξία μας και τους γειτονικούς του γαλαξίες. Το 1987 παρατηρήθηκε μια τέτοιου τύπου έκρηξη στο συνοδό του δικού μας γαλαξία, το Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου, που απέχει από τη Γη 160.000 έτη φωτός. Η ανακάλυψη αυτή έγινε από τον Καναδό αστρονόμο Ian Shelton. Ο αστέρας που εξερράγη ήταν ένας ήδη γνωστός –καταγεγραμμένος– αστέρας 20 ηλιακών μαζών. Μετά την έκρηξή του ονομάστηκε SN1987A. Το φαινόμενο μέγεθος του αστέρα, πριν την έκρηξή του, είχε την τιμή 12 και κατά τη διάρκεια του φαινομένου έγινε 3, δηλαδή η φαινόμενη λαμπρότητά του αυξήθηκε κατά ένα συντελεστή 4.000!

Οι αστρονόμοι υπολόγισαν ότι θα έπρεπε να υπήρχε και σημαντική ροή νετρίνων, πριν από την παρατήρηση, προερχόμενη από την έκρηξη του αστέρα. Πραγματικά, οι ανιχνευτές νετρίνων στην Ιαπωνία και την Αμερική επιβεβαίωσαν ότι 3 ώρες πριν από την καταγραφή του φαινομένου επισημάνθηκε ασυνήθιστα μεγάλος αριθμός νετρίνων. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαίωσαν τις θεωρίες για αυτού του τύπου τις εκρήξεις, αλλά και το γεγονός ότι τα νετρίνα κινούνται με ταχύτητες κοντά στην ταχύτητα του φωτός και εύκολα διαπερνούν τα στερεά σώματα. Η Ιαπωνία και η Αμερική βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ το Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου στο νότιο. Αυτό σημαίνει ότι τα νετρίνα ανιχνεύτηκαν, αφού προηγουμένως διαπέρασαν τη Γη!

Πάλσαρς

Τι απέμεινε όμως μετά από την ισχυρή έκρηξη του SN1987A;

Γνωρίζουμε ήδη ότι, ανάλογα με τη μάζα του αρχικού αστέρα, το υπόλειμμα θα είναι είτε μία μαύρη τρύπα είτε ένας αστέρας νετρονίων.

Το δεύτερο ενδεχόμενο συνέβη και στην περίπτωση του SN1987A. Ο πυρήνας του κατάρρευσε ταχύτατα και μετατράπηκε σε αστέρα νετρονίων.

Ένας αστέρας νετρονίων διαθέτει τρία πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά:

α) Περιστρέφεται γύρω από κάποιον άξονά του. Αυτό οφείλεται στη διατήρηση της στροφορμής που είχε ο αστέρας από τον οποίο προέκυψε.

β) Έχει ισχυρότατο μαγνητικό πεδίο.

γ) Τα ηλεκτρόνια που είναι παγιδευμένα στο μαγνητικό του πεδίο εκπέμπουν ραδιοκύματα.

Έτσι ένας αστέρας νετρονίων εκπέμπει ραδιοκύματα, τα οποία, λόγω της περιστροφής του, ανιχνεύονται με τη μορφή ραδιοπαλμών. Κάθε παρόμοιου τύπου πηγή περιοδικών παλμών ακτινοβολίας ονομάζεται **πάλσαρ (pulsar)**.

Ένας επίγειος παρατηρητής που βρίσκεται στην ευθεία της ακτινοβολίας που εκπέμπει ένας πάλσαρ λαμβάνει παλμούς. Η ένταση των παλμών μεταβάλλεται περιοδικά, καθώς ο πάλσαρ περιστρέφεται. Τον Οκτώβριο του 1968 η θεωρία αυτή επιβεβαιώθηκε, καθώς παρατηρήθηκε για πρώτη φορά ένας pulsar στο νεφέλωμα του Καρκίνου.

5.5 ΑΣΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ένα αστρικό σύστημα αποτελείται από δύο ή περισσότερους αστέρες που συνδέονται μεταξύ τους με δυνάμεις βαρύτητας. Τέτοια συστήματα είναι οι διπλοί αστέρες και τα αστρικά σμήνη.

Οι διπλοί αστέρες με γυμνό μάτι ή με ένα μικρό τηλεσκόπιο φαίνονται σαν ένας αστέρας. Με μεγαλύτερο τηλεσκόπιο είναι δυνατό να διακρίνουμε και τους δύο αστέρες του συστήματος.

Ένας διπλός αστέρας μπορεί να είναι ένα καθαρά γεωμετρικό φαινόμενο, που οφείλεται στο ότι οι διευθύνσεις παρατήρησης των δύο αστέρων από τη Γη τυχαίνει να σχηματίζουν πάρα πολύ μικρή γωνία μεταξύ τους. Τότε οι δύο αστέρες προβάλλονται ο ένας πολύ κοντά στον άλλο πάνω στην ουράνια σφαίρα. Έτσι μας δημιουργείται η ψευδαίσθηση ότι η απόστασή τους είναι πολύ μικρή, ενώ στην πραγματικότητα είναι πολύ μεγάλη. Λέμε τότε ότι πρόκειται για ένα **οπτικό ζεύγος**, μία περίπτωση χωρίς ιδιαίτερη φυσική σημασία.

Αντίθετα, τα **φυσικά ζεύγη** αποτελούν ένα σύστημα δύο αστέρων που συνδέονται με αμοιβαίες ελκτικές δυνάμεις και υπακούουν στους νόμους της Μηχανικής.

Μπορούμε επίσης να έχουμε τρεις, τέσσερις ή και περισσότερους αστέρες που αποτελούν σύστημα.

Υπάρχουν συστήματα που αποτελούνται από μερικές εκατοντάδες μέχρι και εκατομμύρια αστέρες. Αυτά γενικά ονομάζονται **αστρικά σμήνη**, τα οποία στο δικό μας τουλάχιστον Γαλαξία διακρίνονται σε **ανοιχτά** και σε **σφαιρωτά**, ανάλογα με τα φυσικά τους χαρακτηριστικά.

Τα ανοιχτά σμήνη είναι χαλαρές συγκεντρώσεις αστέρων με ακανόνιστο σχήμα και ο αριθμός των αστέρων κυμαίνεται από 100-2.000 περίπου. Τα σφαιρωτά σμήνη, αντίθετα, είναι πυκνές συγκεντρώσεις αστέρων που παρουσιάζουν σφαιρική συμμετρία και περιλαμβάνουν εκατοντάδες χιλιάδες μέλη. Η συγκέντρωση των αστέρων στα σφαιρωτά σμήνη είναι τόσο μεγάλη, ώστε το κέντρο τους φαίνεται συμπαγές.

Τα σμήνη διαλύονται σταδιακά, λόγω των βαρυτικών αλληλεπιδράσεων με το υπόλοιπο μέρος του γαλαξία που τα περιβάλλει.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη σμηνών που ανήκουν σε άλλους γαλαξίες. Με τη σύγκριση των χαρακτηριστικών, όπου βέβαια αυτό είναι δυνατό, βγαίνουν πολύ σημαντικά συμπεράσματα για τον τρόπο δημιουργίας των ίδιων των γαλαξιών και για τη διαδικασία της εξέλιξής τους.

Τα πιο γνωστά ανοιχτά σμήνη είναι οι Πλειάδες (Πούλια) και οι Υάδες. Από τα σφαιρωτά αναφέρουμε τα σμήνη του Ηρακλή και του Κενταύρου.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Τα συμπλέγματα των αστέρων που παρατηρούνται στον ουρανό σχηματίζουν συγκεκριμένα σχήματα που δημιουργούνται με τη βοήθεια της φαντασίας μας και ονομάζονται αστερισμοί.
- Η φωτεινότητα ενός αστέρα είναι η συνολική ενέργεια που εκπέμπει στη μονάδα του χρόνου. Το απόλυτο μέγεθος ενός αστέρα είναι το μέτρο της ενέργειας που φτάνει στη Γη, αν αυτός τοποθετηθεί σε απόσταση 10 pc. Άλλα φυσικά χαρακτηριστικά των αστέρων είναι η επιφανειακή τους θερμοκρασία, το χρώμα και το φάσμα τους.

• Σύμφωνα με τη μορφή του φάσματος της ακτινοβολίας τους, οι αστέρες κατατάσσονται σε διάφορους φασματικούς τύπους.

• Το διάγραμμα της αστρικής λαμπρότητας σε σχέση με τους φασματικούς τύπους (ή τη θερμοκρασία) ονομάζεται διάγραμμα H-R και είναι αυτό που έβαλε τα θεμέλια στη σύγχρονη Αστροφυσική. Στο διάγραμμα αυτό εντοπίζουμε τέσσερις περιοχές συγκέντρωσης αστέρων, την Κύρια Ακολουθία, την περιοχή των γιγάντων, των υπεργιγάντων και των λευκών νάνων. Το 90% των αστέρων ανήκει στην Κύρια Ακολουθία.

• Ένας αστέρας γεννιέται από τη βαρυτική κατάρρευση μεσοαστρικών νεφών. Όταν στο εσωτερικό των αστέρων αρχίσουν θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, τότε αρχίζει η εξέλιξή τους. Με τον όρο εξέλιξη εννοούμε τις μεταβολές στις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στον πυρήνα του αστέρα, που έχουν ως αποτέλεσμα την αλλαγή των φυσικών του χαρακτηριστικών. Καθώς εξελίσσεται ο αστέρας, αλλάζει σταδιακά θέση πάνω στο διάγραμμα H-R.

• Στα τελευταία στάδια της ζωής του ένας αστέρας, ανάλογα με τη μάζα του, μετατρέπεται σε μικρό χρονικό διάστημα και με εκρηκτικό τρόπο σε λευκό νάνο, σε αστέρα νετρονίων ή σε μελανή οπή.

• Μία πολύ σημαντική κατηγορία αστέρων είναι οι μεταβλητοί, οι οποίοι υφίστανται περιοδικές ή εκρηκτικές μεταβολές στα φυσικά τους χαρακτηριστικά. Στους εκρηκτικούς μεταβλητούς ανήκουν οι καινοφανείς και οι υπερκαινοφανείς αστέρες.

• Πολλοί αστέρες σχηματίζουν ομάδες που αλληλεπιδρούν βαρυτικά. Τέτοιες ομάδες είναι τα αστρικά σμήνη, που διακρίνονται σε ανοικτά και σε σφαιρωτά. Η μελέτη των σμηνών παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γιατί προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα για τον τρόπο δημιουργίας των γαλαξιών.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποια σχέση υπάρχει μεταξύ της ακτίνας, της θερμοκρασίας και της λαμπρότητας των αστέρων;

2. Τι ονομάζεται φαινόμενο και τι απόλυτο μέγεθος ενός αστέρα. Ποια σχέση υπάρχει μεταξύ τους;

3. Σχεδιάστε το διάγραμμα H-R, τοποθετώντας τις κατηγορίες αστέρων που υπάρχουν σ' αυτό.

4. Σε τι διαφέρουν τα χαρακτηριστικά των διάφορων ομάδων αστέρων στο διάγραμμα H-R;

5. Υπάρχει περίπτωση ο Ήλιος να καταλήξει σε μαύρη τρύπα;

6. Σημειώστε την πορεία εξέλιξης του Ηλίου μας στο διάγραμμα H-R.

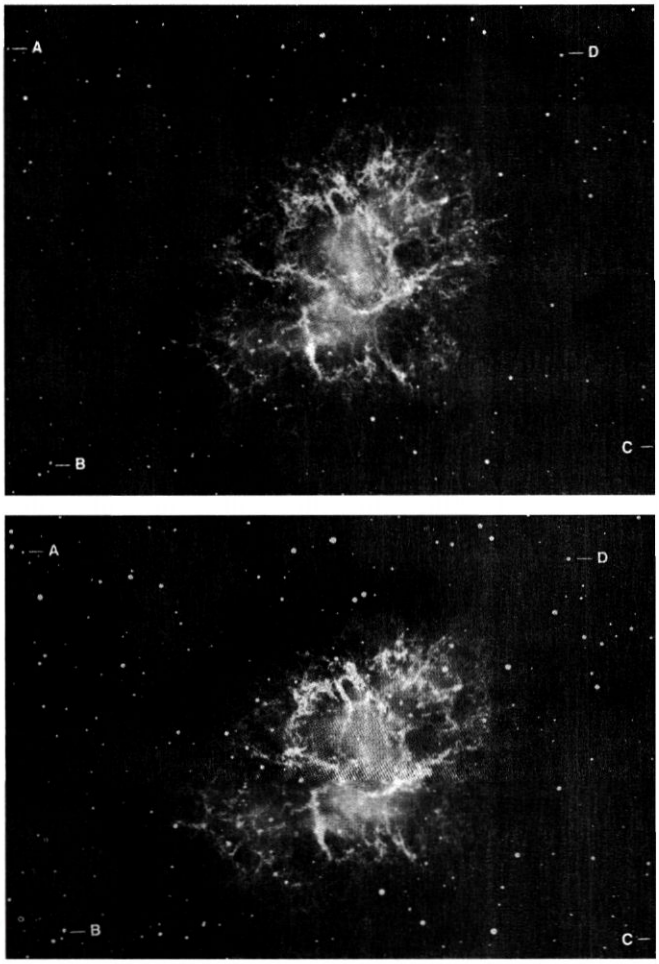
7. Πώς επιτυγχάνεται η ισορροπία (ευστάθεια) ενός αστέρα στο μεγαλύτερο τμήμα της ζωής του;

8. Ένας αστέρας βρίσκεται σε απόσταση 32,6 ε.φ. και το φαινόμενο μέγεθός του είναι 7,5. Ποιο είναι το απόλυτο μέγεθος του αστέρα;

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Το Νεφέλωμα του Καρκίνου

• Εξετάστε τις 2 φωτογραφίες του Νεφελώματος του Καρκίνου. Η πρώτη πάρθηκε το 1942 και η δεύ-



Εικόνα 5.29: Η πρώτη φωτογραφία πάρθηκε το 1942 και η δεύτερη το 1976

τερη το 1976. Εντοπίστε κάποια νήματα ή συμπυκνώσεις που έχουν μετακινηθεί προς τα έξω.

• Με ακρίβεια χιλιοστού μετρήστε πόσο μετακινήθηκαν τα νήματα αυτά στο χρόνο που μεσολάβησε.

• Πόσο απέχουν αυτά από το κέντρο του Νεφελώματος;

• Υπολογίστε πόσα χρόνια χρειάστηκαν για να μετακινηθούν από τη θέση της έκρηξης του υπερκαινοφανούς στη θέση που βλέπουμε.

• Τι υπόθεση κάνατε;

• Σύμφωνα με τα δεδομένα σας, ποια χρονολογία συνέβη αυτό;

Μέτρηση των αποστάσεων στις δυο φωτογραφίες

Για να υπολογίσετε τη γωνιακή απόσταση του νήματος από το κέντρο, πρέπει πρώτα να υπολογίσετε την κλίμακα της φωτογραφίας, δηλαδή πόσα δευτερόλεπτα τόξου αντιστοιχούν σε 1 mm πάνω στη φωτογραφική πλάκα. Αυτό μπορεί να γίνει μετρώντας την απόσταση δύο αστέρων γνωστής γωνιακής απόστασης, όπως δίνονται από τον πίνακα.

Αστέρες	**Γωνιακή απόσταση** σε δευτερόλεπτα μοίρας
AB	351
AC	689
AD	500
BC	596
BD	576

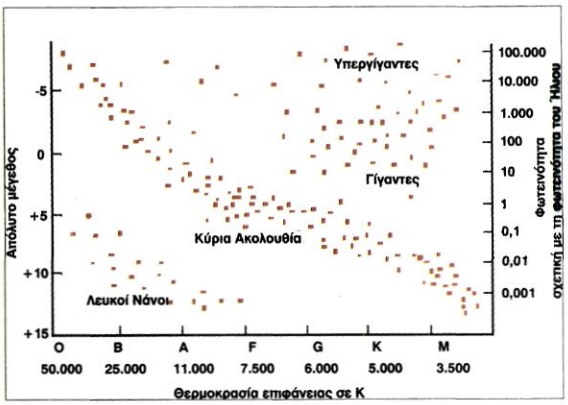
• Ποια είναι η κλίμακα της φωτογραφίας;

• Ποια είναι η απόσταση του νήματος από το κέντρο της έκρηξης;

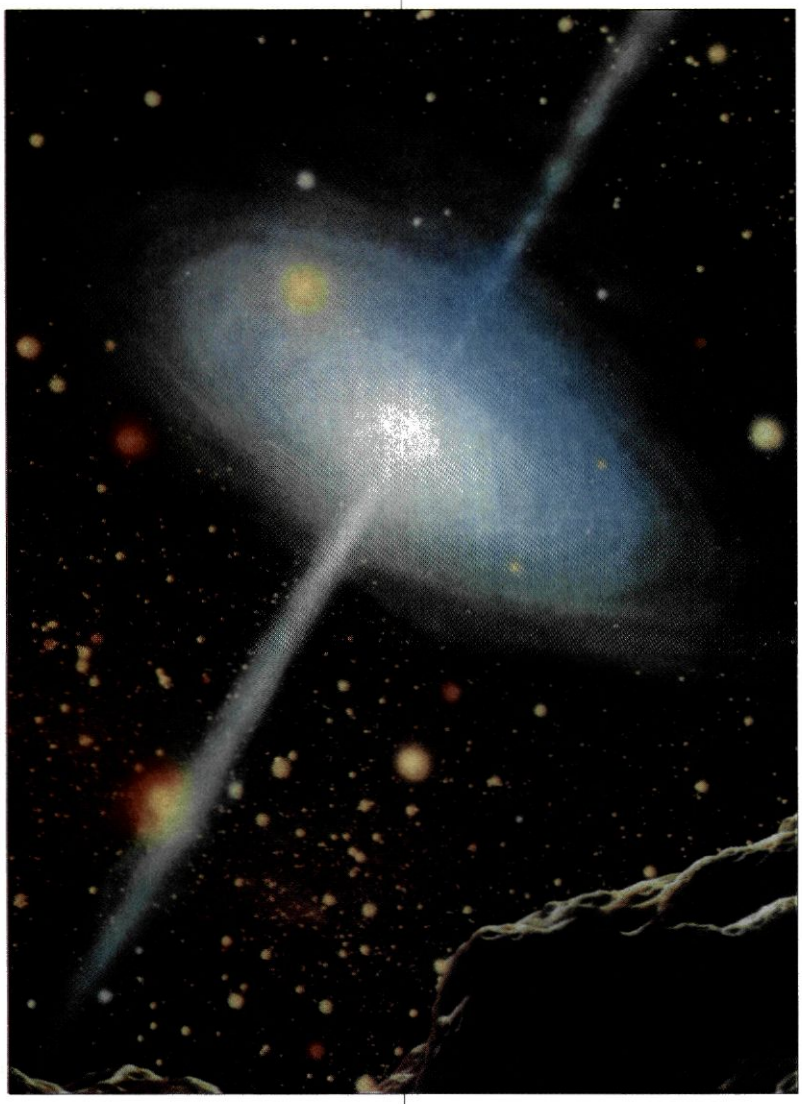
2. Το διάγραμμα H-R

• Με βάση τα δεδομένα του πίνακα, τοποθετήστε τους αστέρες στο παρακάτω διάγραμμα H-R και βρείτε σε ποια κατηγορία ανήκουν.

Αστέρας	Φωτεινότητα σε ηλιακές μονάδες	Επιφανειακή θερμοκρασία (K)
Ήλιος	1,0	5.800
Μπετελγκέζ	20.000	3.000
Αλντεμπαράν	200	4.700
Σείριος B	0,002	20.000



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ



ΟΙ ΓΑΛΑΞΙΕΣ

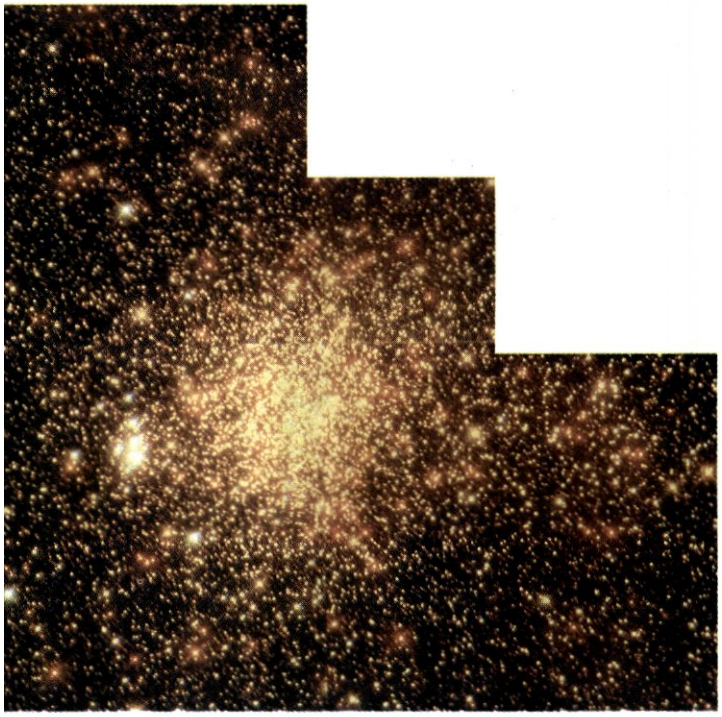
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΟΙ ΓΑΛΑΞΙΕΣ

«...είδωλο
φτασμένο σαν το φως
άστρου που χάθηκε
πριν αιώνες»
(Οδ. Ελύτης, ΜΑΡΙΑ ΝΕΦΕΛΗ)

Ως ταξιδευτές του διαστήματος ξεκινήσαμε από τη Γη, συναντήσαμε στο δρόμο το πλανητικό μας σύστημα και τον Ήλιο. Διεισδύσαμε στο εσωτερικό των αστέρων και ανακαλύψαμε τα μυστικά του σχηματισμού και της εξέλιξής τους.

Τώρα θα αποτολμήσουμε ένα ταξίδι ακόμα πιο βαθιά στο Σύμπαν, ένα ταξίδι στο παρελθόν. Θα περιπλανηθούμε στους τεράστιους σχηματισμούς ύλης και ακτινοβολίας, γνωστούς ως γαλαξίες, που βρίσκονται σε ασύλληπτες αποστάσεις από μας.



Εικόνα 6.1: Η τεράστια αυτή συγκέντρωση αστέρων, σκόνης και ακτινοβολίας είναι ένας σχηματισμός «δεμένος» με τις δυνάμεις του Σύμπαντος και ονομάζεται γαλαξίας. Σ' ένα τέτοιο γαλαξία ανήκουμε και εμείς.

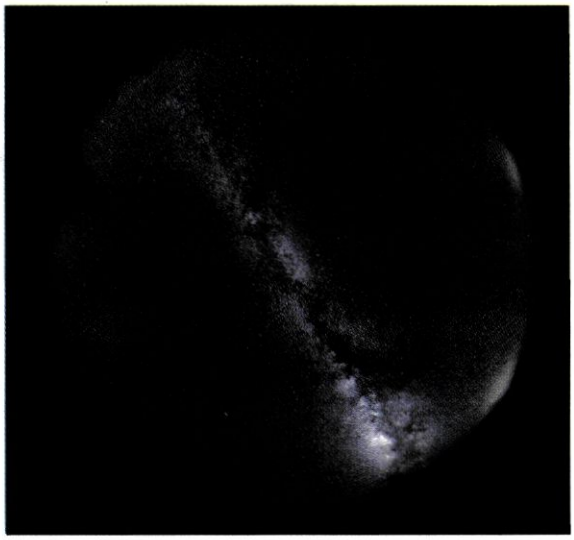
Οδηγός μας θα είναι τρία βασικά ερωτήματα:

- Ποια χαρακτηριστικά έχουν οι γαλαξίες;
- Με ποιες μεθόδους παρατηρούνται και μελετώνται;
- Πώς σχηματίστηκαν και πώς εξελίσσονται;

Το ταξίδι αυτό θα φτάσει στα όρια του Σύμπαντος. Στα ως τώρα γνωστά όρια. Αν έχει όρια.

6.1 Ο ΓΑΛΑΞΙΑΣ

Αν παρατηρήσουμε προσεχτικά τον ουρανό μια ασέληνη και ξάστερη νύχτα, θα δούμε μια γαλακτόχρωμη ζώνη, με ασαφή όρια, να τον διασχίζει από τα

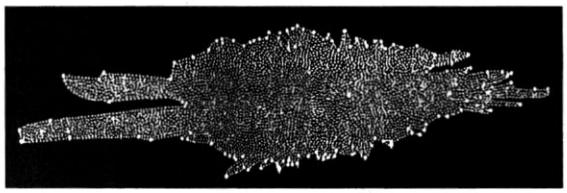


Σχήμα 6.2: Η γαλακτόχρωμη ζώνη που διασχίζει τον ουρανό από τα βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά.

Οι αρχαίοι λαοί προσπαθώντας να εξηγήσουν την ύπαρξη του Γαλαξία έπλασαν διάφορους μύθους.

Ο πιο χαρακτηριστικός από αυτούς, που δικαιολογεί κατά κάποιο τρόπο και την ονομασία του, είναι ο εξής: Ο Ερμής κατάφερε να εξαπατήσει την Ήρα, ώστε να θηλάσει από το γάλα της ο μικρός Ηρακλής και να γίνει αθάνατος. Η Ήρα, μόλις κατάλαβε την απάτη, έσπρωξε μακριά το βρέφος και τότε το γάλα της σκόρπισε στον ουρανό και σχημάτισε το Γαλαξία

Οι Πυθαγόρειοι ονόμαζαν το Γαλαξία «όδό των ψυχών». Ο Πίνδαρος τον ονομάζει «λιπαράν όδόν». Άλλοι τον ονόμαζαν «Ηριδανό ποταμό», άλλοι «Γαλακτίτη κύκλο», άλλοι «Ιορδάνη ποταμό». Οι Άγγλοι τον ονόμαζαν «δρόμο του ΙακώΒ»



Σχήμα 6.3: Ο Γαλαξίας μας σύμφωνα με τον Ουίλιαμ Χέρσελ. Κάπου στο κέντρο του τοποθέτησε τον Ήλιο μας.

βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά (σχ. 6.2 και εικ. 6.4).

Οι απαντήσεις στα ερωτήματα για την προέλευσή της, τα χαρακτηριστικά και τη δημιουργία της άρχισαν να δίνονται από την εποχή που ο Γαλιλαίος έστρεψε το τηλεσκόπιό του προς αυτή. Επιβεβαίωσε έτσι την άποψη του Δημόκριτου (460- 370 π.Χ.) ότι η γαλαξιακή ζώνη, που ονομάστηκε Γαλαξίας, αποτελείται από πολλούς, πάρα πολλούς συγκεντρωμένους αστέρες.

Ο Ουίλιαμ Χέρσελ (W. Herschel) (1738-1822) ήταν ο πρώτος που ερεύνησε πραγματικά το Γαλαξία. Υποστήριξε ότι σχεδόν όλοι οι αστέρες που βλέπουμε με γυμνό μάτι ανήκουν στο Γαλαξία, μέρος του οποίου είναι και αυτή η ζώνη. Ο ίδιος μετρώντας την αστρική πυκνότητα σε διάφορες διευθύνσεις κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο Γαλαξίας μοιάζει με ένα τεράστιο δίσκο (σχ. 6.3).

Οι έρευνες για το Γαλαξία συνεχίστηκαν και μετά το Χέρσελ και εξακολουθούν να συνεχίζονται μέχρι σήμερα.

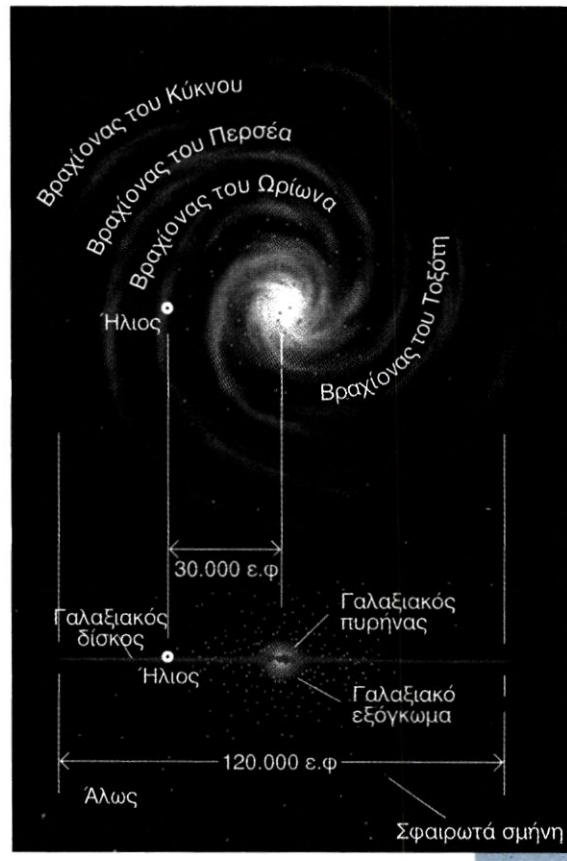
Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΓΑΛΑΞΙΑ

Ο Γαλαξίας είναι μια τεράστια συγκέντρωση από αστέρες, αέρια, σκόνη και ακτινοβολία. Τα στοιχεία που συνθέτουν τη δομή του (σχ. 6.5) είναι τα εξής:

Η κεντρική περιοχή του Γαλαξία (ή γαλαξιακό εξόγκωμα) είναι μια ελαφρά πλατυσμένη σφαίρα με ακτίνα περίπου 12.000 ε.φ. και πάχος περίπου 10.000 ε.φ. Περιέχει σκόνη, ακτινοβολία και αστέρες.

Ο **γαλαξιακός πυρήνας** βρίσκεται στο κέντρο του γαλαξιακού εξογκώματος. Είναι δύσκολο να παρατηρηθεί με οπτικές μεθόδους, διότι η μεσοαστρική ύλη απορροφά σε μεγάλο βαθμό την ορατή ακτινοβολία της περιοχής αυτής. Όμως, αναλύοντας την υπέρυθρη ακτινοβολία και τη ραδιοακτινοβολία που εκπέμπεται

Εικόνα 6.4: Το κέντρο του Γαλαξία βρίσκεται στην κατεύθυνση του αστερισμού του Τοξότη.



Σχήμα 6.5: Σχηματική αναπαράσταση του Γαλαξία όπου διακρίνονται τα διάφορα τμήματα της δομής του και οι σχετικές αποστάσεις τους από το κέντρο του μετρημένες σε έτη φωτός.

Εικόνα 6.6: Το γαλαξιακό εξόγκωμα του Γαλαξία μας. Η φωτογραφία πάρθηκε από το διαστημόπλοιο COBE (Cosmic Background Explorer).

από το γαλαξιακό εξόγκωμα, οι επιστήμονες κατάφεραν να «δουν» πιο βαθιά και να παρατηρήσουν τον πυρήνα του.

Η παρατήρηση δείχνει ότι στην περιοχή γύρω από το κέντρο του Γαλαξία η πυκνότητα των αστέρων είναι 1.000.000 φορές μεγαλύτερη από αυτή που επικρατεί στην περιοχή που βρίσκεται το ηλιακό μας σύστημα. Αυτό σημαίνει ότι στο γαλαξιακό πυρήνα οι αποστάσεις των γειτονικών αστέρων είναι τόσο μικρές, ώστε είναι πιθανόν οι αστέρες να συγκρούονται μεταξύ τους.

Στον πυρήνα του έχουν επίσης παρατηρηθεί τεράστια σύννεφα από σκόνη και μοριακό υδρογόνο.

Εφαρμόζοντας τους νόμους του Κέπλερ για τις τιμές ταχύτητας και περιόδου περιφοράς των αστέρων που παρατηρούμε, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα, ότι στο κέντρο του Γαλαξία πρέπει να υπάρχει μια τεράστια συγκέντρωση μάζας. Η μάζα αυτή ισοδυναμεί με περίπου 3.000.000 ηλιακές μάζες. Το πιο πιθανό είναι ότι στο κέντρο του Γαλαξία υπάρχει μια τεράστια μαύρη τρύπα. Η υπόθεση αυτή εξηγεί και τα τεράστια ποσά ακτίνων Χ και ραδιοκυμάτων που εκπέμπονται από την ίδια περιοχή.

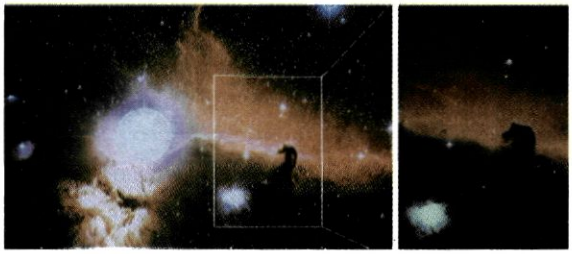
Ο **δίσκος** του Γαλαξία, στον οποίο ανήκει και το ηλιακό μας σύστημα, έχει διάμετρο περίπου 120.000 έτη φωτός. Ο Ήλιος απέχει από το κέντρο του περίπου 30.000 ε.φ. Το πάχος του δεν είναι περισσότερο από 1.000 ε.φ. Η εξερεύνηση του γαλαξιακού δίσκου πέρα από τις γειτονικές μας περιοχές έγινε δυνατή με την ανάπτυξη της ραδιοαστρονομίας. Οι ραδιομελέτες έδειξαν ότι ο Γαλαξίας είναι **σπειροειδούς** μορφής και ότι ο Ήλιος βρίσκεται σε μια από τις **σπείρες** του (σχ. 6.7). Οι σπείρες είναι περιοχές με πυκνότερη ύλη

Σχήμα 6.7: Η σπειροειδής μορφή του Γαλαξία μας.

Εικόνα 6.8: Το σφαιρωτό σμήνος NGC 104 στον αστερισμό Tucana. Είναι ένα από τα πιο κοντινά σε μας σφαιρωτά σμήνη του Γαλαξία μας, το οποίο απέχει 16.000 ε.φ. Η διάμετρός του είναι 210 ε.φ.

και περισσότερους αστέρες. Περιέχουν νεαρούς αστέρες, νεφελώματα-πρωτοαστέρες, αστέρες φασματικού τύπου Ο και Β και ανοιχτά σμήνη αστέρων.

Η **άλως** είναι μια εκτεταμένη και λεπτή σφαιρική περιοχή με διάμετρο περίπου 300.000 ε.φ. Είναι το παλαιότερο τμήμα του Γαλαξία. Αποτελείται από αέρια νέφη, κυρίως ιονισμένου υδρογόνου, παλαιούς αστέρες και σφαιρωτά σμήνη αστέρων. Σήμερα οι επιστήμονες πιστεύουν ότι η άλως περιέχει και άλλα αντικείμενα, των οποίων δεν έχει εξακριβωθεί ακόμα η ταυτότητα και τα οποία ονομάζονται **σκοτεινή ύλη.**



Εικόνα 6.9: Το εντυπωσιακό νεφέλωμα (κεφαλή Ίππου) του Ωρίωνα σε απόσταση 1.500 ε.φ.

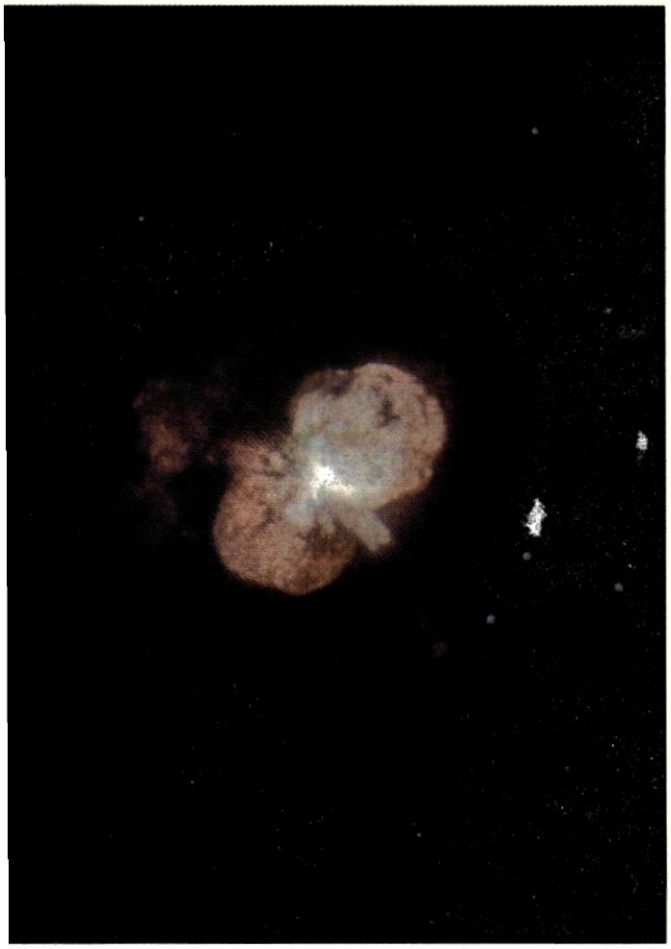
ΤΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΓΑΛΑΞΙΑ

Όπως είδαμε, ο Γαλαξίας περιέχει αέρια, σκόνη, αστέρες και ακτινοβολία.

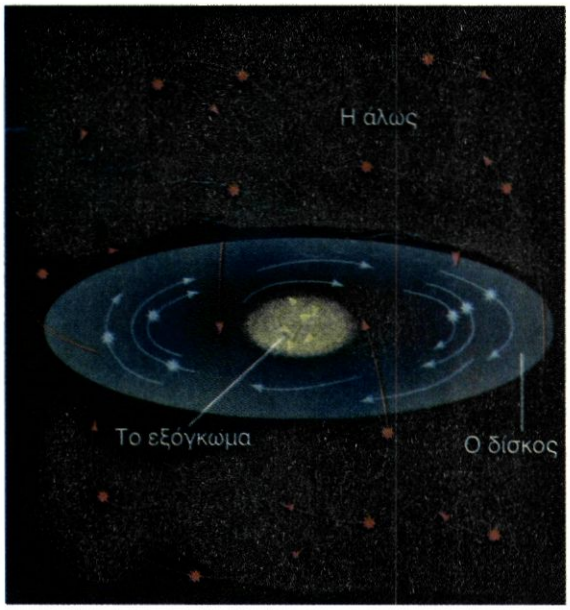
Οι **αστέρες,** όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5, χωρίζονται σε δύο «πληθυσμούς», τους I και II. Στον πληθυσμό I ανήκουν αστέρες παρόμοιοι με τον Ήλιο και συναντώνται κυρίως στο δίσκο του Γαλαξία.

Στον πληθυσμό II ανήκουν αστέρες που αποτελούνται από ελαφρότερα στοιχεία και συναντώνται στην άλω του Γαλαξία. Οι αστέρες του πληθυσμού II είναι αρχαιότεροι από τους αστέρες του πληθυσμού I. Σχηματίστηκαν στην αρχή της ιστορίας του Γαλαξία μας, περίπου $15X10^9$ χρόνια πριν.

Ανάμεσα στους αστέρες του Γαλαξία μας υπάρχει διάχυτη ύλη που ονομάζεται **μεσοαστρική ύλη.**



Εικόνα 6.10: Το νεφέλωμα η Carinae σε απόσταση 9.000 ε.φ. που παρατηρείται στο Βόρειο ημισφαίριο Ο αστέρας η Carinae από τον οποίο πήρε το όνομα και το νεφέλωμα είναι ένας μεταβλητός αστέρας, 150 φορές μεγαλύτερος από τον Ήλιο και 4.000.000 πιο φωτεινός. Το 19ο αιώνα ήταν το δεύτερο φωτεινότερο αντικείμενο στο Βόρειο ημισφαίριο. Σήμερα δεν είναι ορατός με γυμνό μάτι. Η τελευταία έκρηξη παρατηρήθηκε το 1841.



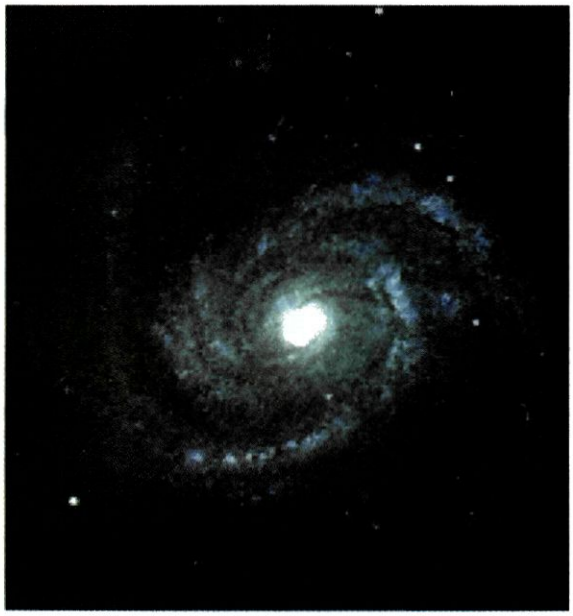
Σχήμα 6.11: Οι κινήσεις των αστέρων γύρω από κέντρο του Γαλαξία μας.

Αυτή δημιουργήθηκε από τους αστρικούς ανέμους ή από εκρήξεις καινοφανών και υπερκαινοφανών αστέρων. Αποτελείται κυρίως από αέρια, σκόνη και νεφελώματα. Βρίσκεται συγκεντρωμένη στις σπείρες του Γαλαξία και η πυκνότητά της είναι πάρα πολύ μικρή. Όμως ο χώρος που καλύπτεται από το Γαλαξία είναι τόσο μεγάλος, ώστε η μάζα της μεσοαστρικής ύλης στο σύνολό της να συγκρίνεται με τη μάζα του συνόλου των αστέρων του!

Τα **νεφελώματα** (εικ. 6.9 και 6.10) είναι τεράστιες και εντυπωσιακές συγκεντρώσεις αερίου, κυρίως υδρογόνου, και σκόνης. Είναι περιοχές στις οποίες δημιουργούνται συνεχώς νέοι αστέρες. Το πρώτο νεφέλωμα ανακαλύφτηκε το 17ο αιώνα και είναι το νεφέλωμα του Ωρίωνα. Σήμερα είναι γνωστά περισσότερα από 1.000 τέτοια νεφελώματα.

Η ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΛΩΝ ΤΟΥ ΓΑΛΑΞΙΑ

Τα μέλη του Γαλαξία ακολουθούν διαφορετικές τροχιές, ανάλογα με την περιοχή στην οποία βρίσκονται. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.11, την πιο οργανωμένη κίνηση εμφανίζουν οι αστέρες του γαλαξιακού δίσκου. Ολόκληρος ο γαλαξιακός δίσκος περιστρέφεται γύρω από το γαλαξιακό κέντρο. Στη περιοχή του Ηλίου οι ταχύτητες περιφοράς των αστέρων γύρω από το γαλαξιακό κέντρο φτάνουν τα 220 Km/s. Αυτό σημαίνει ότι μια πλήρης περιφορά τους διαρκεί



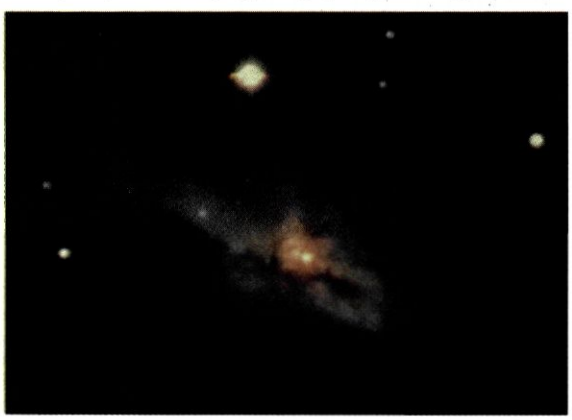
Εικόνα 6.12: Ο σπειροειδής γαλαξίας M100 στον αστερισμό της Κόμης της Βερενίκης, ο οποίος απέχει 6.000.000 ε.φ. Έχουν βρεθεί σε αυτόν 4 υπερκαινοφανείς και περίπου 20 κηφείδες.

225 εκατομμύρια χρόνια. Σε άλλα σημεία του γαλαξιακού δίσκου η περίοδος αυτή διαφέρει. Είναι μεγαλύτερη σε μεγαλύτερες αποστάσεις από αυτό και μικρότερη σε μικρότερες. Δηλαδή, η περιστροφή του Γαλαξία είναι **διαφορική.**

Οι αστέρες που ανήκουν στις υπόλοιπες περιοχές του Γαλαξία κινούνται προς όλες τις κατευθύνσεις.

6.2 ΕΞΩΓΑΛΑΞΙΑΚΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ

Στην αρχή του 20ού αιώνα ανακαλύφτηκε ένα πλήθος γαλαξιών παρόμοιων με το δικό μας. Η μελέτη των φυσικών χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων των γαλαξιών, που μέχρι σήμερα έχουν ανιχνευτεί με τα σύγχρονα τεχνολογικά μέσα, είναι το αντικείμενο αυτής της παραγράφου.



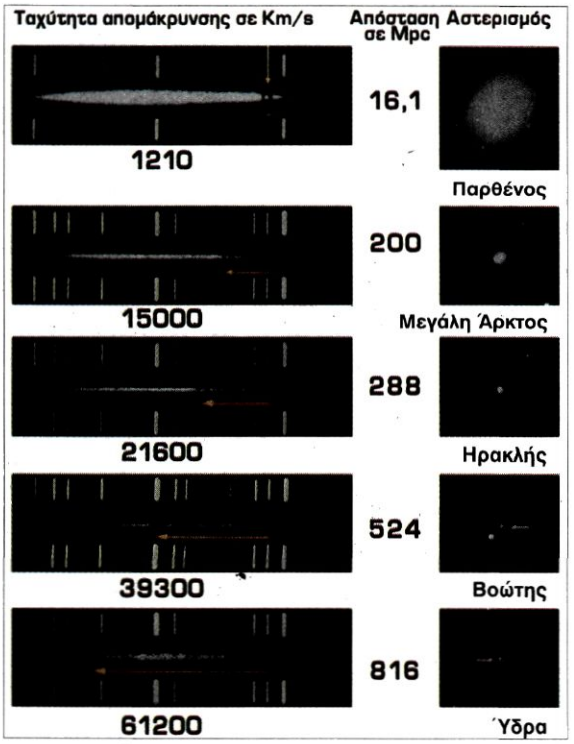
Εικόνα 6.13: Ο ανώμαλος γαλαξίας M82 τύπου IrII σε απόσταση 11.000.000 ε.φ.

Η ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

Η πρώτη συστηματική μελέτη και ταξινόμηση των γαλαξιών με βάση το σχήμα τους έγινε από το Χαμπλ (Hubble). Οι γαλαξίες, σύμφωνα με την ταξινόμηση αυτή, χωρίζονται στους ελλειπτικούς (E), στους σπειροειδείς (S και Sb) και στους ανώμαλους (I).

Οι **ελλειπτικοί** γαλαξίες ονομάστηκαν έτσι, λόγω του ελλειπτικού σχήματος που έχει το είδωλό τους στο τηλεσκόπιο και στις φωτογραφικές πλάκες. Χωρίζονται σε οχτώ επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με τη φαινόμενη πλάτυνση, E0, E1, E2, E3, ..., E7. Ο E0 έχει πλάτυνση 0, δηλαδή είναι ένας σφαιρικός γαλαξίας. Ο τύπος E7 είναι ένας ελλειπτικός γαλαξίας με τη μεγαλύτερη πλάτυνση που έχει παρατηρηθεί μέχρι σήμερα.

Οι **σπειροειδείς** γαλαξίες (εικ. 6.12) χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Σε αυτούς που η κεντρική τους περιοχή είναι σπειροειδούς μορφής (S) και σε αυτούς που η κεντρική τους περιοχή έχει τη μορφή ράβδου, από τα άκρα της οποίας αρχίζουν οι σπείρες (SB). Οι



Σχήμα 6.14: Υπολογισμός των αποστάσεων των γαλαξιών με το νόμο του Χαμπλ.

Πίνακας 6.15: Τα φυσικά χαρακτηριστικά των γαλαξιών.

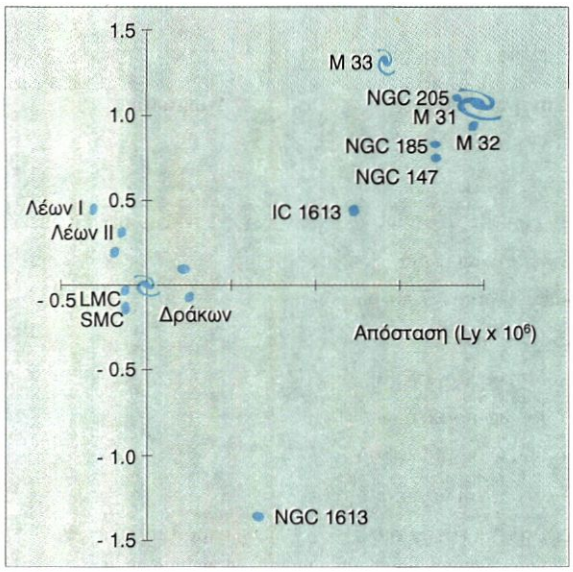
	Ελλειπτικοί (E)	**Σπειροειδείς (S) και (SB)**	**Ανώμαλοι (Ir)**
Χαρακτηριστικά της δομής τους	• Δεν έχουν δίσκο • Έχουν σχήμα ελλειψοειδές που κυμαίνεται από σχεδόν σφαιρικό E0 έως πολύ πλατυσμένο E7. • Έχουν πολύ πυκνό πυρήνα.	• Έχουν πολύ λεπτό δίσκο από αστέρες και αέρια, σπείρες και κεντρικό εξόγκωμα. Οι Sa και SBa έχουν το μεγαλύτερο εξόγκωμα και περίπου σφαιρική άλω. • Οι SB έχουν κεντρική ράβδο από αστέρες και αέρια.	• Δεν έχουν συγκεκριμένη δομή.
Αστέρες	• Περιέχουν μόνο παλαιούς αστέρες.	• Ο δίσκος περιέχει και παλαιούς και νέους αστέρες. • Η άλως περιέχει μόνο παλαιούς αστέρες.	• Περιέχουν και παλαιούς και νέους αστέρες.
Αέρια και σκόνη	• Περιέχουν πολύ λίγα ή και καθόλου.	• Ο δίσκος περιέχει μεγάλες ποσότητες. • Η άλως περιέχει μικρή ποσότητα.	• Περιέχουν άφθονη σκόνη και αέρια.
Δημιουργία αστέρων	• Καμιά σημαντική δημιουργία τα τελευταία 10 δισεκατομμύρια χρόνια.	• Αυξανόμενη δημιουργία αστέρων στις σπείρες.	• Ζωηρή και αυξανόμενη δημιουργία αστέρων.
Οι κινήσεις των μελών του γαλαξία.	• Τυχαίες τροχιές και στις τρεις διευθύνσεις.	• Τα αέρια και οι αστέρες στο δίσκο κινούνται σε τροχιές γύρω από το γαλαξιακό κέντρο. • Οι αστέρες στην άλω έχουν τυχαίες τροχιές και στις τρεις διευθύνσεις.	• Οι αστέρες και τα αέρια έχουν πολύ ανώμαλες τροχιές.
Κατανομή των γαλαξιών	40% - 50%	40% - 50%	~ 5%
Διάμετρος	30×10^3 - 150×10^3 ε.φ.	90×10^3 ε.φ.	20×10^3 ε.φ.
Μάζα (μάζα Ηλίου =1)	10^5 έως 10^{13}	10^{11}	10^6
Λαμπρότητα (Ηλίου =1)	10^8 - 10^{11}	10^{10}	10^9

δυο κατηγορίες, αυτές χωρίζονται σε υποκατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος και τη μορφή τους. Ο Γαλαξίας μας ανήκει στην πρώτη κατηγορία.

Οι **ανώμαλοι** γαλαξίες (εικ. 6.13) ονομάζονται έτσι από το ακαθόριστο σχήμα τους. Χωρίζονται και αυτοί σε δυο τύπους, τους IrI και IrII. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα δύο Νέφη του Μαγγελάνου, που παρατηρούνται στο Νότιο Ημισφαίριο.

ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ - ΦΥΓΗ ΤΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ - Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ HUBBLE

Ο υπολογισμός της απόστασης ενός γαλαξία από τη Γη γίνεται με μεθόδους που συνδυάζουν ένα μεγάλο πλήθος παρατηρησιακών δεδομένων. Το τελικό αποτέλεσμα επιτυγχάνεται σταδιακά, ξεκινώντας από τη μέτρηση των αποστάσεων ουράνιων αντικειμένων



Σχήμα 6.16: Η κατανομή των γαλαξιών της τοπικής ομάδας. Στην αρχή των αξόνων τοποθετήθηκε ο Γαλαξίας μας.

που βρίσκονται σχετικά κοντά στη Γη.

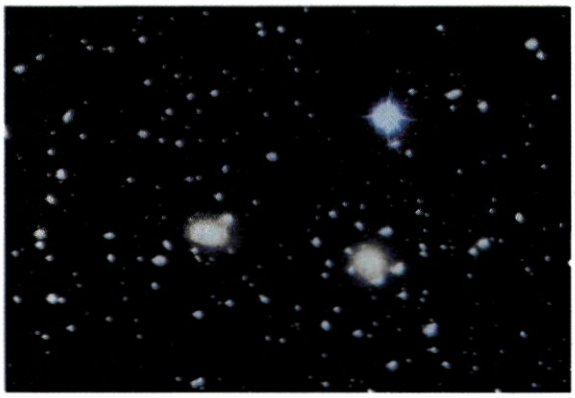
Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ των διάφορων φυσικών χαρακτηριστικών των ουράνιων σωμάτων (π.χ. φωτεινότητα, μέγεθος, φάσμα κτλ.) και των αποστάσεών τους από τη Γη, είναι δυνατό να υπολογιστούν με αρκετά καλή προσέγγιση οι αποστάσεις και των πλέον απομακρυσμένων γαλαξιών.

Τη 2η και 3η δεκαετία του 20ού αιώνα ο αστρονόμος Σλίφερ (Slipher) κατάφερε να μετρήσει με τη βοήθεια του φαινομένου Doppler τις ακτινικές ταχύτητες ως προς τη Γη περισσότερων από 40 γαλαξιών. Κατέληξε σε μια πολύ ενδιαφέρουσα ανακάλυψη: Όλοι οι **μακρινοί** γαλαξίες απομακρύνονται από το Γαλαξία. Το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε **φυγή των γαλαξιών.**

Την ίδια εποχή ο αστρονόμος Χαμπλ (Hubble) μέτρησε τις αποστάσεις από τη Γη αρκετών από τους παραπάνω γαλαξίες και τις συσχέτισε με τις ακτινικές τους ταχύτητες. Βρήκε ότι τα δυο αυτά μεγέθη είναι ανάλογα. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση ενός γαλαξία από το δικό μας τόσο γρηγορότερα απομακρύνεται απ' αυτόν. Η σχέση αυτή είναι γνωστή ως νόμος του Χαμπλ και γράφεται:

$$\boxed{\upsilon = H \cdot d}$$

όπου **υ** είναι η ταχύτητα απομάκρυνσης του γαλαξία, **d** η απόστασή του και **H** μια σταθερά, που ονομάζεται **σταθερά του Χαμπλ.** Είναι ίση με 75 Km/sec/Mpc ή 20 Km/sec/Mly (Mly $=10^6$ ε.φ.). Έτσι, ένας γαλαξίας ο οποίος απομακρύνεται με ταχύτητα 15.000 Km/sec βρίσκεται σε απόσταση 15.000:75=200 Mpc (1Mpc=10^6pc).

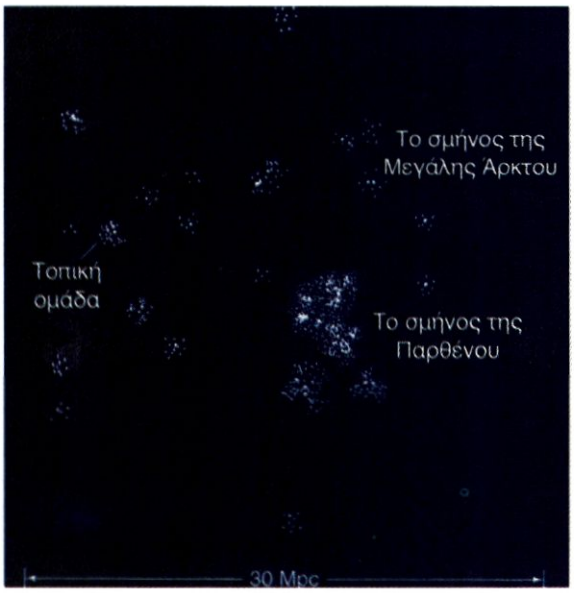


Εικόνα 6. 17: Το σμήνος της Κόμης της Βερενίκης σε απόσταση 230 εκατ. ε.φ., με 1.000 περίπου γαλαξίες ως μέλη του και μάζα 10^{14} ηλιακές μάζες.

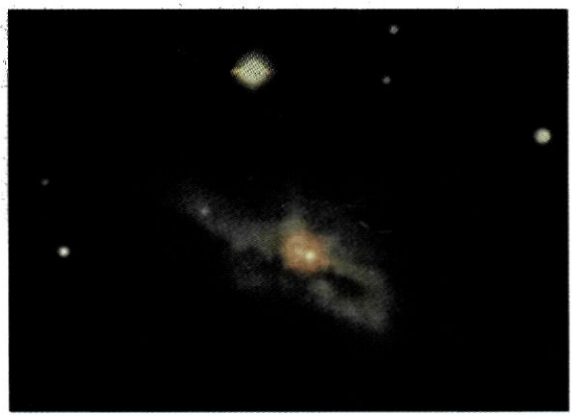
6.3 ΟΜΑΔΕΣ ΚΑΙ ΣΜΗΝΗ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

Από παρατηρήσεις και μελέτες που έχουν γίνει κατά καιρούς έχει διαπιστωθεί ότι πολλοί γαλαξίες σχηματίζουν ομάδες. Τα μέλη των ομάδων έλκονται μεταξύ τους με βαρυτικές δυνάμεις και έχουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά, επειδή είναι πολύ πιθανό να έχουν δημιουργηθεί την ίδια εποχή. Οι ομάδες μπορεί να είναι ολιγομελείς ή πολυμελείς, οπότε αποτελούν τα λεγόμενα σμήνη γαλαξιών.

Κοντά στο Γαλαξία υπάρχει μια ομάδα 20 γαλαξιών που απέχουν μερικές εκατοντάδες χιλιάδες pc. Είναι η



Σχήμα 6.18: Το τοπικό υπερσμήνος γαλαξιών.



Εικόνα 6. 19: Ο NGC 6240. Στο κέντρο της εικόνας διακρίνονται δυο γαλαξίες που απέχουν μεταξύ τους μερικές εκατοντάδες pc. Οι υπολογισμοί δείχνουν ότι οι γαλαξίες σταδιακά συγχωνεύονται.

τοπική ομάδα, η οποία καταλαμβάνει ένα χώρο σε σχήμα ελλειψοειδές, με το Γαλαξία και το γαλαξία της Ανδρομέδας (Μ 31) να κατέχουν τα άκρα του μεγάλου του άξονα (σχ. 6.16).

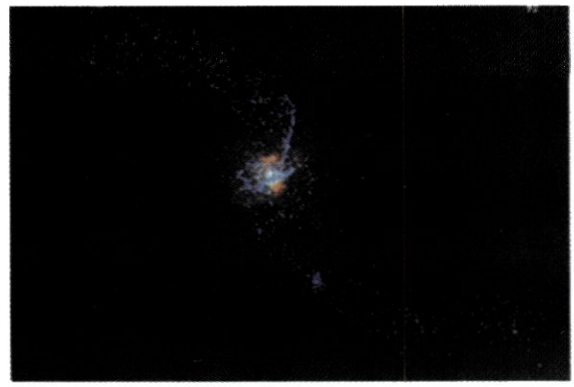
Τα πλησιέστερα στο Γαλαξία μέλη είναι τα δύο Νέφη του Μαγγελάνου που είναι ορατά μόνο από το Νότιο Ημισφαίριο.

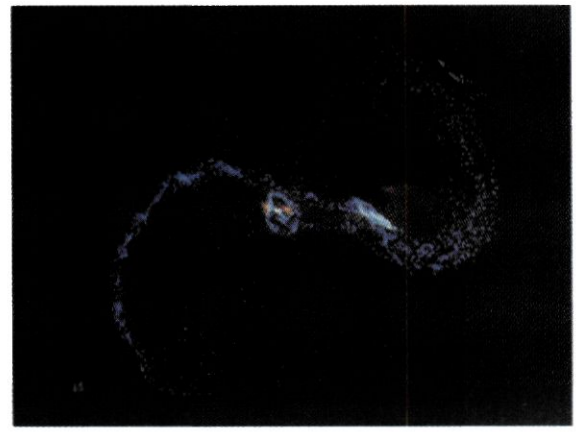
Οι πολυπληθείς ομάδες ονομάζονται **σμήνη γαλαξιών.** Σήμερα είναι γνωστά περισσότερα από 60, από τα οποία ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν: Το σμήνος της Παρθένου σε απόσταση 35 εκατ. ε.φ. και με περίπου 2.800 μέλη, το σμήνος της Κόμης της Βερενίκης σε απόσταση 230 εκατ. ε.φ. και με 1.000 γαλαξίες και το σμήνος του Βόρειου Στεφάνου σε απόσταση 650 εκατ. ε.φ. και με 400 περίπου μέλη. Από τη μελέτη των σμηνών έχει παρατηρηθεί ότι μερικά από αυτά περιστρέφονται γύρω από άξονα με ταχύτητες της τάξης των 1.500 Km/sec. Η μάζα τους επίσης είναι τεράστια. Το σμήνος της Κόμης της Βερενίκης έχει μάζα περίπου 10^{14} ηλιακές μάζες.

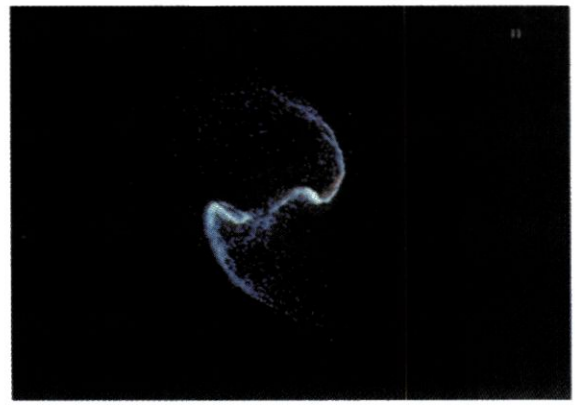
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μικρές ομάδες γαλαξιών. Τέτοιες είναι το τριπλό σύστημα του Γαλαξία με τα δύο Νέφη του Μαγγελάνου και το επίσης τριπλό σύστημα του γαλαξία της Ανδρομέδας Μ31 με τους συνοδούς του Μ32 και Μ110.

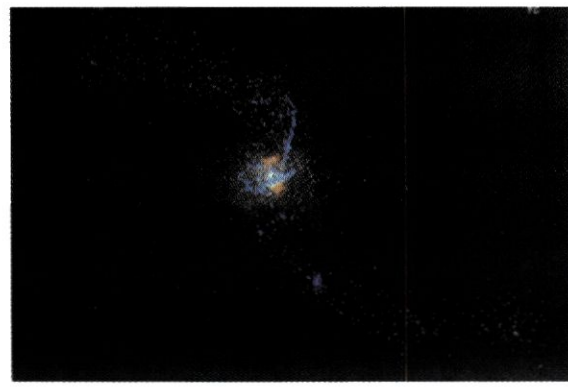
Οι αστρονόμοι πιστεύουν ότι οι διπλοί γαλαξίες ή οι μικρές ομάδες που αποτελούνται από ένα γαλαξία και τους συνοδούς του είναι ευσταθή συστήματα. Αντίθετα, πολυπληθέστερα συστήματα είναι συνήθως ασταθή και κάποτε θα διαλυθούν.

Κατ' ανάλογο τρόπο με την ύπαρξη σμηνών γαλαξιών θεωρούμε ότι και αυτά σχηματίζουν μια ομάδα









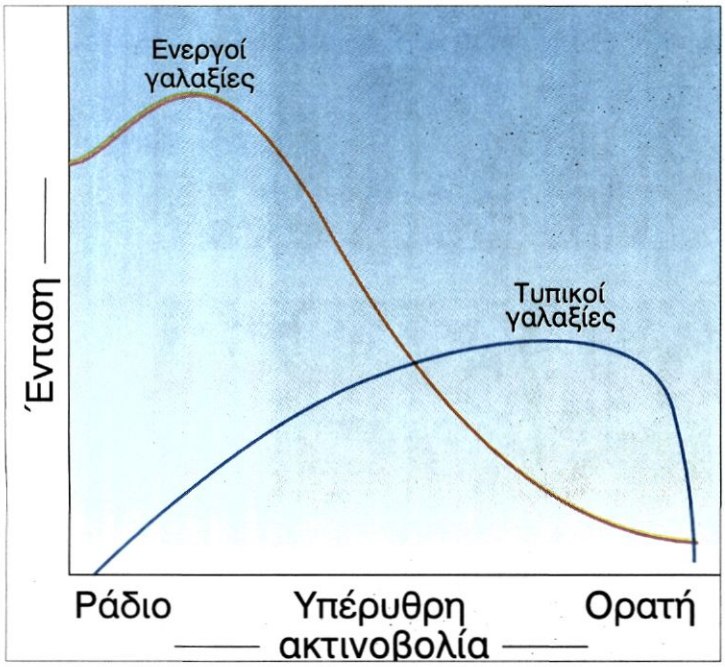
Σχήμα 6.20: Αναπαράσταση με υπολογιστή του φαινομένου του κανιβαλισμού δύο γαλαξιών.

σμηνών, δηλαδή ένα **σμήνος σμηνών** ή ένα **υπερσμήνος.** Το τοπικό υπερσμήνος (σχ. 6.18) έχει μάζα περίπου 10^{15} ηλιακές μάζες και περιέχει ένα τεράστιο αριθμό από γαλαξίες (πολλές χιλιάδες).

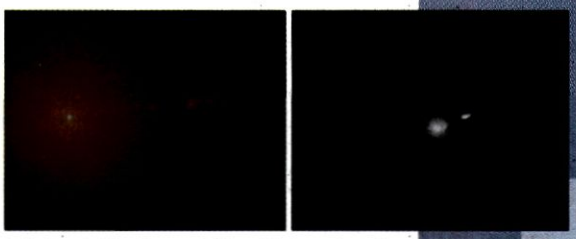
Ο ΚΑΝΙΒΑΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα φαινόμενα που παρατηρούνται στις ομάδες γαλαξιών είναι οι συγχωνεύσεις και οι συγκρούσεις μεταξύ γαλαξιών. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως **κανιβαλισμός των γαλαξιών.** Οι ερευνητές πιστεύουν ότι το αποτέλεσμα κάθε σύγκρουσης είναι ο σχηματισμός ενός νέου γαλαξία με διαφορετικές ιδιότητες ή η απορρόφηση του ενός γαλαξία από τον άλλο. Βέβαια η σύγκρουση δύο γαλαξιών διαρκεί αρκετά εκατομμύρια χρόνια με αποτέλεσμα να είναι αδύνατο να παρατηρηθεί το αποτέλεσμά της με τα δικά μας γήινα μέτρα. Δηλαδή, για τα ανθρώπινα μέτρα το φαινόμενο αυτό κάθε άλλο παρά βίαιο είναι.

Με τη βοήθεια των ηλεκτρονικών υπολογιστών κατασκευάστηκε ένα μοντέλο προσομοίωσης του φαινομένου, το οποίο αναπαριστά όλη τη διαδικασία σύγκρουσης των δύο γαλαξιών (σχ. 6.20). Οι παρατηρήσεις και οι μελέτες μέσω των μοντέλων προσομοίωσης βοήθησαν τους επιστήμονες να καταλήξουν στα παρακάτω συμπεράσματα:



Σχήμα 6.21: Η μέγιστη ακτινοβολία των ενεργών γαλαξιών δεν εκπέμπεται στο ορατό μέρος, αλλά στην περιοχή της ραδιοακτινοβολίας και της υπέρυθρης ακτινοβολίας.



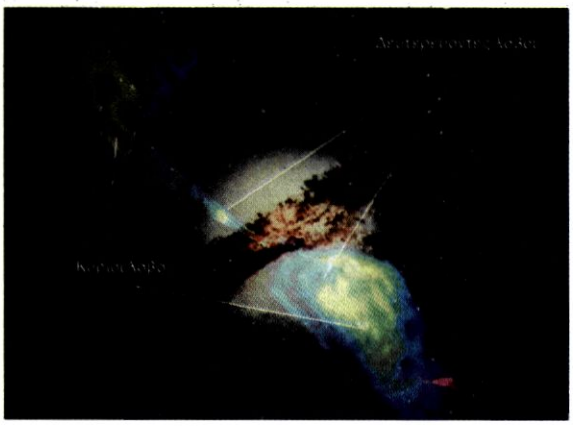
Εικόνα 6.22: Ο γιγαντιαίος ελλειπτικός ραδιογαλαξίας M87 ανήκει στο σμήνος της Παρθένου Οι εικόνες δείχνουν τον M87 στο ορατό φως. Ένα τεράστιας ποσότητας αέριο με μήκος 6.000 ε.φ. και με φωτεινότητα 10^7 φορές τη φωτεινότητα Ηλίου εκτινάσσεται προς τα έξω με ταχύτητα 150.000 Km/s. Ο M87 εκπέμπει επίσης ακτίνες X με ενέργεια 50 φορές μεγαλύτερη από την οπτική του εκπομπή. Ο ραδιοχάρτης του συμπίπτει με την οπτική του εικόνα και την εικόνα των ακτίνων X. Ένα σύνηθες φαινόμενο των συμπαγών ραδιογαλαξιών.

(1) Το φαινόμενο παρατηρείται στο εσωτερικό των σμηνών ή των ομάδων γαλαξιών όπου οι αποστάσεις μεταξύ των μελών τους είναι σχετικά μικρές.

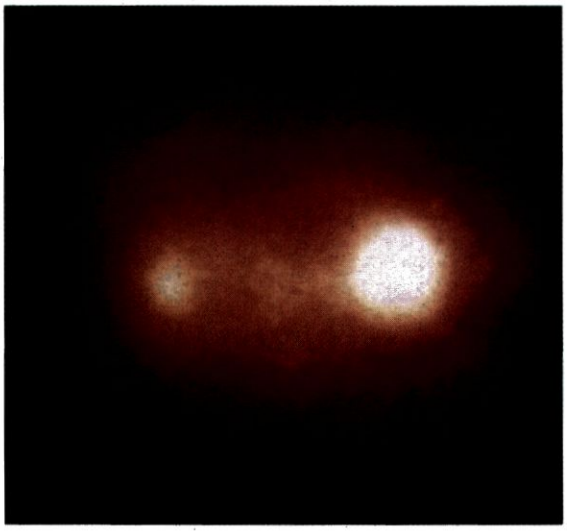
(2) Στην περίπτωση των μικρών ομάδων οι ταχύτητες των γαλαξιών που συγκρούονται είναι μικρές, με αποτέλεσμα οι γαλαξίες να παραμένουν ενωμένοι ή ο ένας να απορροφά τον άλλο.

(3) Στις μεγάλες ομάδες οι γαλαξίες κινούνται ταχύτερα, με αποτέλεσμα ο ένας να γλιστρά διαμέσου του άλλου χωρίς ιδιαίτερη παρεμπόδιση. Ωστόσο, η σύγκρουση έχει μεγάλη επίδραση στη ίδια τη δομή των δυο γαλαξιών. Οι αστέρες τους και η μεσοαστρική ύλη ανακατανέμονται και πιθανόν σε μερικές περιπτώσεις να υπάρχει ξαφνική συμπύκνωση ή συνένωση ύλης με εκρηκτικά αποτελέσματα.

(4) Κατά τη σύγκρουση των γαλαξιών οι αστέρες



Εικόνα 6.23: Ο γαλαξίας A του Κενταύρου είναι ένας εκτεταμένος ραδιογαλαξίας σε απόσταση 10.000.000 ε.φ. Η εικόνα δείχνει φωτογραφία του στο ορατό φως. Διχοτομείται από μια εκτεταμένη ζώνη αερίων στην οποία διακρίνονται πρωτεύοντες και δευτερεύοντες λοβοί. Οι μεγάλοι λοβοί απέχουν μεταξύ τους 1.500.000 ε.φ. Ο ραδιογαλαξίας είναι επίσης ισχυρή πηγή εκπομπής ακτίνων X. Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι οι λοβοί αποτελούνται από υλικό που εκτοξεύεται με μεγάλη ταχύτητα από τον πυρήνα, εξαιτίας βίαιων γεγονότων τα οποία συμβαίνουν σ' αυτόν.



Εικόνα 6.24: Ο γαλαξία Seyfert Μαρκάριαν 315 με το διπλό πυρήνα, όπως φωτογραφήθηκε από το HST το 1993. Οι δύο πυρήνες απέχουν μεταξύ τους μόλις 6.000 ε.φ.

τους δε συγκρούονται μεταξύ τους. Αυτό γίνεται, διότι η απόσταση μεταξύ των γαλαξιών ενός σμήνους είναι αρκετά μικρή (περίπου 10 φορές μεγαλύτερη από τις διαστάσεις τους), με αποτέλεσμα να συγκρούονται, ενώ η απόσταση μεταξύ των αστέρων ενός γαλαξία είναι εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη από τη διάμετρό τους. Αυτό σημαίνει ότι κατά τη σύγκρουση των γαλαξιών οι αστέρες έχουν αρκετό χώρο για να γλιστρούν ο καθένας ανάμεσα στους άλλους.

6.4 ΕΙΔΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΓΑΛΑΞΙΕΣ

Μέχρι σήμερα έχουν αναγνωριστεί και καταγραφεί ελλειπτικοί, σπειροειδείς και ανώμαλοι γαλαξίες, που βρίσκονται σε αποστάσεις εκατοντάδων Mpc από τη Γη. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτινοβολίας που εκπέμπει ένας τυπικός γαλαξίας αντιστοιχεί στο ορατό τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και προέρχεται από τους αστέρες του. Η ανακάλυψη των ραδιοτηλεσκοπίων, των τηλεσκοπίων ακτίνων X και των τηλεσκοπίων υπερύθρου έδωσε στους αστρονόμους τη δυνατότητα να ανακαλύψουν πηγές ακτινοβολίας που αντιστοιχούν και στο μη ορατό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Μερικές από αυτές τις πηγές βρέθηκαν σε τόσο μεγάλες αποστάσεις, που αφήνουν έκπληκτο κάθε παρατηρητή τους. Εκπέμπουν τεράστια ποσά ενέργειας (σχ. 6.21), που σε μερικές περιπτώσεις είναι εκατοντάδες ή και χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από τη συνολική ενέργεια που εκπέμπει ο δικός μας Γαλαξίας.

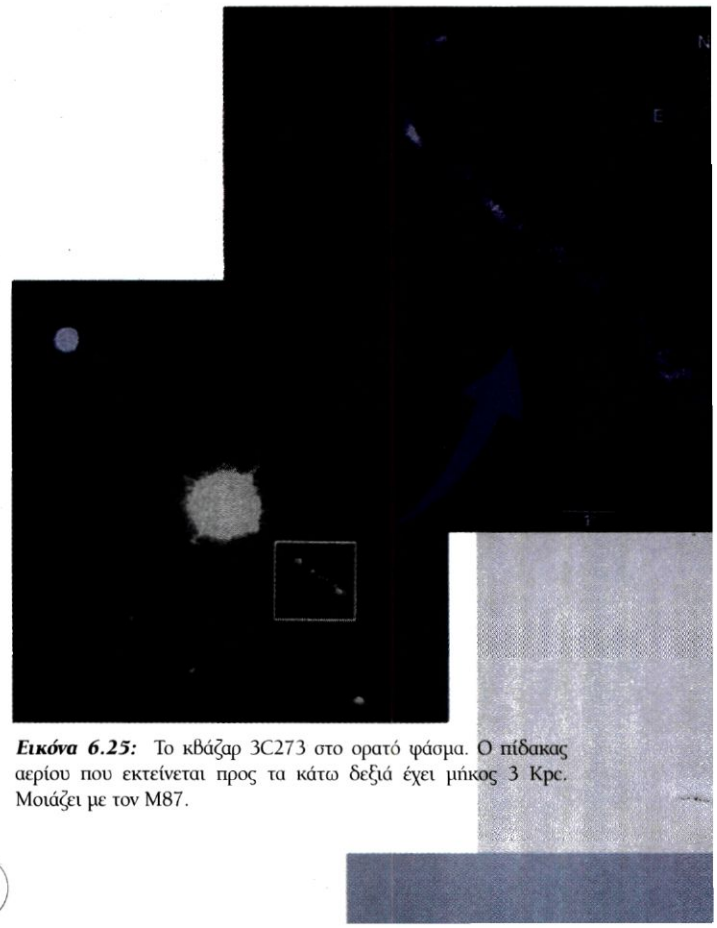
Αυτές οι τεράστιες πηγές ακτινοβολίας ονομάζονται **ενεργοί γαλαξίες** και είναι τριών ειδών: Οι **ραδιογαλαξίες**, οι **γαλαξίες Seyfert** και τα **κβάζαρς** (quasars).

Μελετώντας τη δομή και τη συμπεριφορά αυτών των τόσο απομακρυσμένων και δραστήριων γαλαξιών, έχουμε τη δυνατότητα να διερευνήσουμε και να δούμε την κατάσταση του Σύμπαντος στο πολύ μακρινό παρελθόν του. Η μελέτη διευκολύνεται περισσότερο και από το γεγονός ότι μερικοί ενεργοί γαλαξίες, όπως ο M87 και ο A του Κενταύρου, είναι σχετικά κοντά μας διασκορπισμένοι ανάμεσα στους τυπικούς γαλαξίες και μπορούμε να τους παρατηρούμε στο ορατό φως.

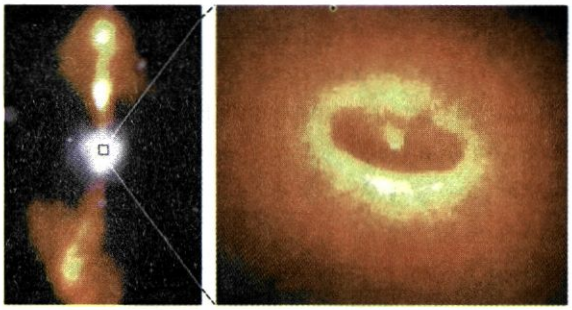
ΟΙ ΡΑΔΙΟΓΑΛΑΞΙΕΣ

Οι γαλαξίες αυτοί είναι ισχυρές πηγές ραδιοκυμάτων. Αποτελούν τη μεγαλύτερη τάξη ενεργών γαλαξιών, στην οποία περιέχονται δύο ειδών ραδιογαλαξίες: Οι συμπαγείς και οι εκτεταμένοι.

α) Οι **συμπαγείς** ραδιογαλαξίες εμφανίζουν ένα



Εικόνα 6.25: Το κβάζαρ 3C273 στο ορατό φάσμα. Ο πίδακας αερίου που εκτείνεται προς τα κάτω δεξιά έχει μήκος 3 Kpc. Μοιάζει με τον M87.



Εικόνα 6.26: Η αριστερή εικόνα του NGC 4261 δείχνει τον πυρήνα του και τους δύο ραδιολοβούς που εκτείνονται ευθύγραμμα με τον πυρήνα σε μια έκταση περίπου 200.000 ε.φ. Η δεξιά εικόνα δείχνει τον πυρήνα του, έναν δίσκο 400 ε.φ. ο οποίος περιβάλλει μια σκοτεινή περιοχή που πιστεύεται ότι είναι μια μαύρη τρύπα.

μικρό πυρήνα, ο οποίος δεν υπερβαίνει το 1 pc, με έντονη εκπομπή ραδιοκυμάτων. Γύρω από αυτόν υπάρχει μια εκτεταμένη περιοχή, η άλως, που εκπέμπει ραδιοκύματα με μικρότερη ένταση.

Β) **Εκτεταμένοι** ραδιογαλαξίες είναι εκείνοι των οποίων η ραδιοακτινοβολία προέρχεται από μια τεράστια περιοχή. Σ' αυτή παρατηρούμε ένα ασθενή πυρήνα με δύο λοβούς.

ΟΙ ΓΑΛΑΞΙΕΣ SEYFERT

Οι γαλαξίες αυτοί οφείλουν το όνομά τους στον Αμερικανό αστρονόμο Carl Seyfert, που τους ανακάλυψε το 1943. Από την άποψη της ενέργειας που εκπέμπουν βρίσκονται μεταξύ των τυπικών γαλαξιών και των ραδιογαλαξιών. Από το φάσμα τους διαπιστώνεται ότι και αυτοί συνήθως βρίσκονται σε τεράστιες αποστάσεις από τη Γη. Φαινομενικά μοιάζουν με τους κανονικούς σπειροειδείς. Όμως μια λεπτομερής μελέτη και καταγραφή της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας δείχνει ότι διαφέρουν σημαντικά από τους κανονικούς γαλαξίες. Οι γαλαξίες Seyfert έχουν ένα εξαιρετικά μικρό και φωτεινό πυρήνα στον οποίο φαίνεται να υπάρχει βίαιη δραστηριότητα.

ΤΑ ΚΒΑΖΑΡΣ

Η ονομασία κβάζαρ (quasar) σημαίνει ραδιοπηγή που μοιάζει με αστέρα. Από τις πρώτες ημέρες της ραδιοαστρονομίας οι ραδιοαστρονόμοι είχαν ανακαλύψει πολλές ισχυρές ραδιοπηγές, χωρίς ωστόσο να τις έχουν παρατηρήσει και οπτικά. Έτσι δεν μπορούσαν να εκτιμήσουν την απόστασή τους από τη Γη. Μόλις το 1960 κατάφεραν να δουν την πρώτη ραδιοπηγή με οπτικό τηλεσκόπιο.

Με μετέπειτα μελέτες διαπιστώθηκε ότι αυτά τα τόσο παράξενα αντικείμενα δεν μπορούσαν να είναι αστέρες του Γαλαξία. Ωστόσο, η ονομασία τους παρέμεινε μέχρι και σήμερα. Η μελέτη τους παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, γιατί είναι τα πιο απομακρυσμένα αντικείμενα που έχουν παρατηρηθεί μέχρι τώρα. Το πιο κοντινό κβάζαρ απέχει 240 Mpc (782.000.000 ε.φ) και το πιο μακρινό 4.700 Mpc (15.300.000.000 ε.φ.).

Τα κβάζαρς είναι από τα πιο φωτεινά αντικείμενα που παρατηρούνται στο Σύμπαν. Κάθε κβάζαρ, παρ' όλο που σε μέγεθος είναι μικρότερο από ένα τυπικό γαλαξία, ακτινοβολεί τόση ενέργεια όση εκατοντάδες γαλαξίες μαζί. Η φωτεινότητά τους αντιστοιχεί σε 20 τρισεκατομμύρια Ήλιους ή 1.000 γαλαξίες σαν το δικό μας.

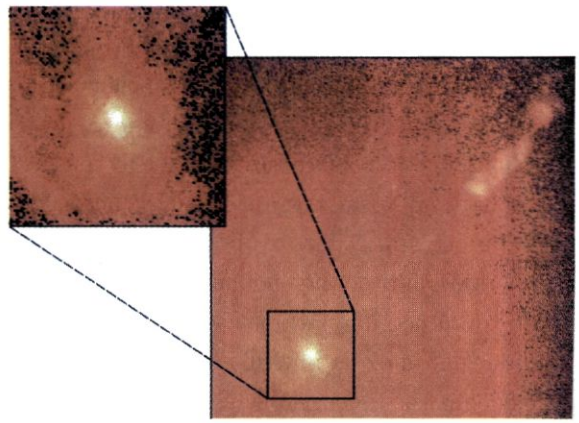
ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

Οι ενεργοί γαλαξίες εκπέμπουν τεράστιες ποσότητες ακτινοβολίας, η οποία δεν προέρχεται εξ ολοκλήρου από τους αστέρες τους. Το σημαντικότερο μέρος της προέρχεται από την έντονη δραστηριότητα που παρατηρείται στους πυρήνες τους.

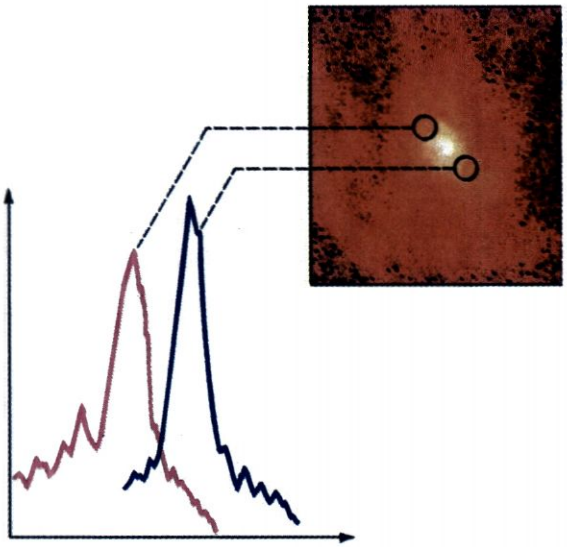
Οι ιδιότητες που ακολουθούν χαρακτηρίζουν τους ενεργούς γαλαξίες.

1. Έχουν τεράστιες φωτεινότητες, μεγαλύτερες από 10^{37} W, που είναι η ποσότητα ακτινοβολίας ενός αρκετά φωτεινού τυπικού γαλαξία.

2. Η ενέργεια εκπομπής τους είναι κυρίως μη



Εικόνα 6.27: Η εικόνα δείχνει τον πυρήνα και τον πίδακα αερίου του M87. Στη μεγέθυνσή της φαίνεται μια σπειροειδής συγκέντρωση αστέρων, αερίου και σκόνης.



Εικόνα 6.28: Οι δύο γραφικές παραστάσεις παριστάνουν αντίθετες μετατοπίσεις του φαινομένου Doppler, που σημαίνει ότι η μία πλευρά απομακρύνεται και η άλλη πλησιάζει σε μας. Αυτό σημαίνει επίσης ότι ο δίσκος περιστρέφεται κάθετα στον πίδακα αερίου και ότι στο κέντρο του υπάρχει μια μαύρη τρύπα με μάζα 3 δισεκατομμύρια φορές τη μάζα του Ήλιου μας.

αστρική, δεν προέρχεται, δηλαδή, από τους αστέρες τους, ακόμα και αν υποτεθεί ότι αποτελούνται από τρισεκατομμύρια αστέρες.

3. Η ενέργεια που εκπέμπεται δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται και μάλιστα με μεγάλες διακυμάνσεις. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από έναν πυρήνα αρκετά μικρό, που δεν ξεπερνά σε έκταση το 1 pc.

4. Παρατηρούνται συχνά ενδείξεις εκρηκτικής δραστηριότητας στον πυρήνα τους (εμφανίσεις πιδάκων αερίων κ.ά.).

5. Παρατηρούνται συνήθως σε πολύ μεγάλες αποστάσεις από τη Γη.

Η ύπαρξη και η μελέτη των ενεργών γαλαξιών δημιουργεί μια σειρά από αναπάντητα ακόμα ερωτήματα:

- Πώς μπορούν αυτές οι τεράστιες ποσότητες ενέργειας να προέρχονται από τόσο μικρές περιοχές;
- Γιατί τόσο μεγάλη ποσότητα ενέργειας εκπέμπεται σε μεγάλα μήκη κύματος, σε ραδιοκύματα και σε υπέρυθρη ακτινοβολία;

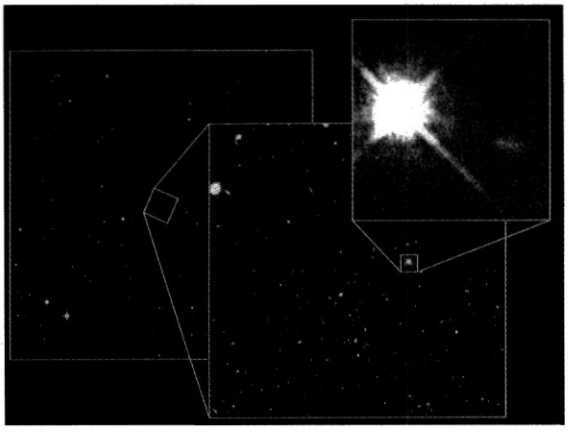
Η ΕΚΡΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

Ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα που απασχολούν τους αστρονόμους είναι οι τεράστιες ποσότητες ενέργειας που παράγονται και εκπέμπονται από τους ενεργούς γαλαξίες με εκρηκτικό τρόπο. Για παράδειγμα, πώς παράγονται οι τεράστιοι πίδακες αέριας μάζας που εκτινάσσονται με μεγάλη ταχύτητα από τον πυρήνα του ενεργού γαλαξία M87 (εικ. 6.22);

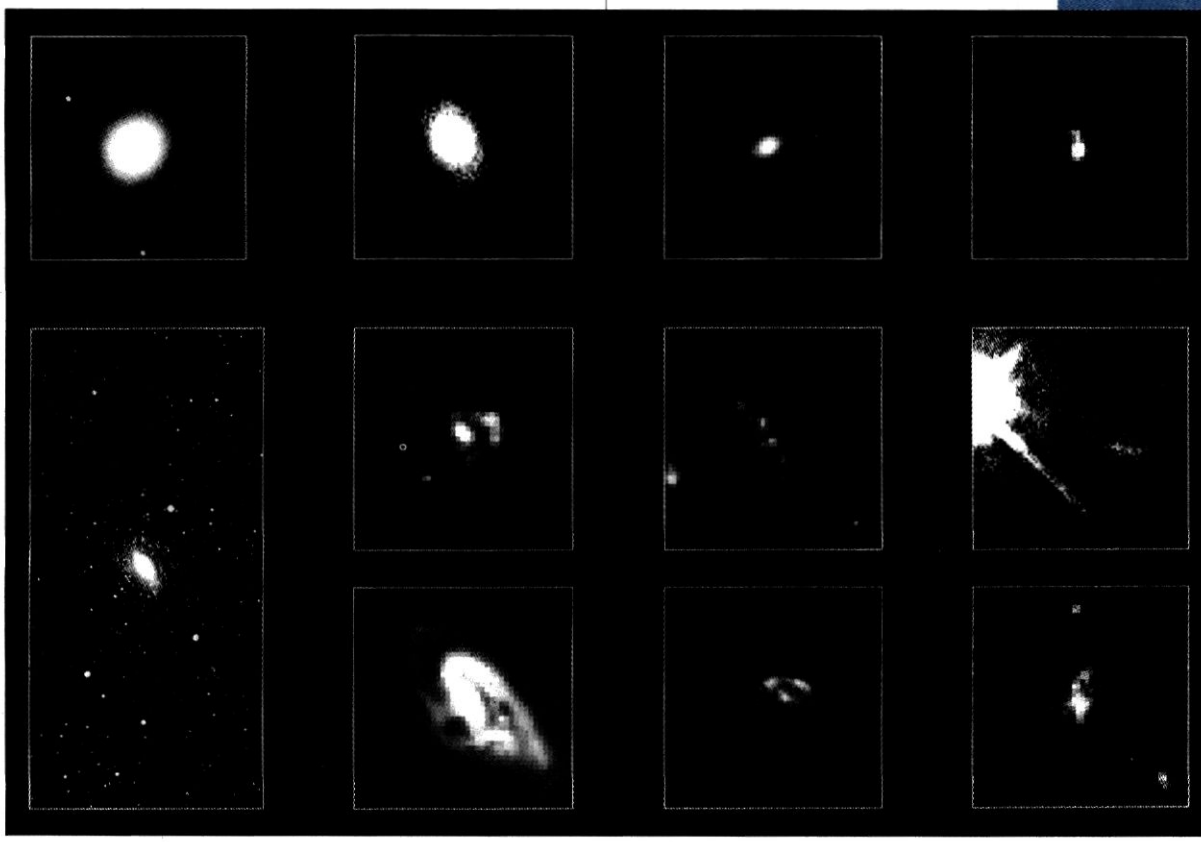
Πρόσφατες παρατηρήσεις έδειξαν ότι αυτοί οι πίδακες εκπέμπουν ορατό φως, ακτίνες X και ραδιοκύματα. Μάλιστα λεπτομερείς ραδιοπαρατηρήσεις στον πίδακα του M87 έδειξαν ότι συγκεντρώσεις αερίων μαζών που προέρχονται από τον πυρήνα τροφοδοτούν συνεχώς τον πίδακα. Τέτοιου είδους παρατηρήσεις ενισχύουν την άποψη ότι κάποιο ιδιαίτερο φαινόμενο συμβαίνει στο εσωτερικό αυτών των γαλαξιών.

Η συνολική ενέργεια που εκπέμπει ένας τυπικός γαλαξίας, όπως ο δικός μας, είναι περίπου 10^{37} W. Αυτή η ακτινοβολία προέρχεται από 10^{12} περίπου αστέρες, αέρια καθώς και από μεσογαλαξιακή ύλη. Όμως η πολύ περισσότερη ενέργεια που εκπέμπουν οι ενεργοί γαλαξίες αποκλείεται να προέρχεται από τους αστέρες που περιέχουν.

Η έντονη εκπομπή ακτίνων X ενισχύει την άποψη



Εικόνα 6.29: Αριστερά. Η φωτογραφία αυτή εμφανίζει μια πολύ μικρή περιοχή του ουρανού στον αστερισμό του Γλύπτη όπου περιέχεται ένα σμήνος γαλαξιών. Το σμήνος είναι τόσο μακριά που καλύπτει μόλις το 1/10 του δίσκου της πανσέληνου. Τα μέλη του δεν είναι ορατά, επειδή κρύβονται από το φως των αστέρων. Κέντρο. Το HST φωτογράφισε αυτή την περιοχή και ταυτόχρονα το πιο μακρινό σμήνος γαλαξιών στο Σύμπαν. Βρίσκεται σε απόσταση 12 δισεκατομμυρίων ε.φ. Επειδή το φως κάνει 12 δισεκατομμύρια χρόνια να φτάσει, αυτή η φωτογραφία δείχνει μια πρώιμη κατάσταση του Σύμπαντος. Είναι μόλις 2 δισεκατομμύρια χρόνια μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Το σμήνος περιέχει 14 γαλαξίες και βρίσκεται μπροστά από ένα κβάζαρ, το Q000-263. Δεξιά. Η μεγέθυνση αυτή δείχνει έναν από τους πιο μακρινούς τυπικούς γαλαξίες που έχουν ανιχνευτεί μέχρι τώρα. Σε μια απόσταση 12 δισεκατομμυρίων ε.φ. ο γαλαξίας βρίσκεται μόλις 300 εκατομμύρια ε.φ. πιο μπροστά από το κβάζαρ και ανιχνεύτηκε, επειδή απορροφά ένα μέρος από το φως του. Το φάσμα του γαλαξία αποκαλύπτει έναν έντονο σχηματισμό αστέρων.



Εικόνα 6.30: Γαλαξίες, ένα φωτογραφικό στιγμιότυπο της εξέλιξής τους.
Αυτή η ακολουθία των φωτογραφιών μακρινών χαρακτηριστικών γαλαξιών προσφέρει αξιόπιστες πληροφορίες για την εξέλιξη των γαλαξιών στο Σύμπαν.
Η αριστερή στήλη:
Υπάρχουν σπειροειδούς και ελλειπτικού σχήματος γαλαξίες οι οποίοι συγκροτούν τις δύο βασικές ομάδες τις οποίες μπορούμε να παρατηρούμε σήμερα (14 δισεκατομμύρια έτη μετά από τη γέννηση του Σύμπαντος). Οι ελλειπτικοί γαλαξίες περιέχουν παλαιούς αστέρες, ενώ οι σπειροειδείς έχουν πολλούς σχηματισμούς νέων αστέρων. Και οι δύο κατηγορίες γαλαξιών βρίσκονται μερικές δεκάδες εκατομμύρια ε.φ. μακριά μας, και, συνεπώς, αντιπροσωπεύουν το σημερινό στάδιο εξέλιξης του Σύμπαντος.
Δεύτερη από αριστερά στήλη
Αυτοί οι γαλαξίες είναι μέλη πολυπληθών σμηνών, όταν το Σύμπαν είχε περίπου τα 2/3 της σημερινής του ηλικίας. Οι ελλειπτικοί γαλαξίες εμφανίζονται πλήρως εξελιγμένοι, διότι μοιάζουν με τους σημερινούς απόγονούς τους. Σε αντίθεση, μερικοί σπειροειδείς έχουν πιο ομιχλώδη εμφάνιση με χαλαρά σχηματισμένες σπείρες. Ο πληθυσμός των σπειρών εμφανίζεται περισσότερο διαλυμένος από ό,τι σήμερα, εξαιτίας πιθανών δυναμικών επιδράσεων που οφείλονται στο πυκνό σμήνος που ανήκουν.
Τρίτη στήλη
Η διακριτή σπειροειδής δομή φαίνεται περισσότερο αμυδρή και διαλυμένη σε γαλαξίες που υπήρξαν, όταν το Σύμπαν είχε περίπου το 1/3 της σημερινής του ηλικίας. Αυτά τα αντικείμενα δεν έχουν τη συμμετρία των σημερινών σπειροειδών. Παρατηρούνται εκρηκτικές αστρικές δραστηριότητες. Ωστόσο, και τόσο πίσω, στην αρχή της δημιουργίας οι ελλειπτικοί γαλαξίες είναι ακόμα εύκολα αναγνωρίσιμοι. Παρ' όλα αυτά η διάκριση μεταξύ σπειροειδών και ελλειπτικών γαλαξιών είναι λιγότερο βέβαιη, καθώς η απόσταση μεγαλώνει.
Τέταρτη στήλη
Αυτά τα υπερβολικά απομακρυσμένα πρωταρχικά αντικείμενα υπήρξαν, όταν το Σύμπαν είχε το 1/10 της σημερινής του ηλικίας. Η διάκριση μεταξύ σπειροειδών και ελλειπτικών γαλαξιών δεν υπάρχει σ' αυτή την πρώιμη εποχή. Ωστόσο, το αντικείμενο στην κορυφή της στήλης έχει την εμφάνιση ενός ώριμου ελλειπτικού γαλαξία Αυτό υπονοεί ότι οι ελλειπτικοί γαλαξίες σχηματίστηκαν πολύ νωρίς στο Σύμπαν, ενώ οι σπειροειδείς σχηματίστηκαν πολύ αργότερα.
Απόδοση: Dressler (Carnegie Institution of Washington), M. Dickinson (STScI), D. Macchetto (ESA/STScI), M. Giavalisco (STScI),και NASA

ότι στο εσωτερικό τους υπάρχει ισχυρό βαρυτικό πεδίο, το οποίο οφείλεται σε μεγάλη συγκέντρωση μάζας, παρόμοια με αυτή των αστέρων νετρονίων και των μελανών οπών.

Το κύριο μοντέλο, που σήμερα είναι αποδεκτό για την παραγωγή της ενέργειας των ενεργών γαλαξιών, προβλέπει την ύπαρξη μιας τέτοιας τεράστιας μαύρης τρύπας στο κέντρο τους με μάζα από μερικά εκατομμύρια έως και ένα δισεκατομμύριο ηλιακές μάζες.

Αυτή η μαύρη τρύπα είναι πηγή ισχυρότατης βαρυτικής έλξης. Τα αέρια και οι αστέρες που την περιβάλλουν πέφτουν σε αυτή και ταυτόχρονα εκλύουν πολύ μεγάλες ποσότητες ενέργειας υπό μορφή θερμότητας και ακτινοβολίας. Η ενέργεια απορροφάται από τα σωματίδια που περιβάλλουν τη μαύρη τρύπα, με αποτέλεσμα αυτά να αποκτούν πολύ υψηλές ταχύτητες

και έτσι να ακολουθούν βίαια φαινόμενα.

Οι θεωρητικές μελέτες, αλλά και τα νέα πιο σύγχρονα μέσα παρατήρησης που σχεδιάζονται, αναμένεται να φωτίσουν περισσότερο τα φαινόμενα των ενεργών γαλαξιών.

6.5 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

Στις προηγούμενες παραγράφους αναλύσαμε τα χαρακτηριστικά των γαλαξιών, των σμηνών γαλαξιών και των ενεργών γαλαξιών.

- Πώς όμως σχηματίστηκαν και πώς εξελίσσονται οι γαλαξίες;
- Γιατί σχηματίζουν ομάδες, σμήνη και υπερσμήνη;

Η συγκρότηση μιας θεωρίας, δηλαδή ενός μοντέλου, που να δίνει απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα, είναι εξαιρετικά δύσκολο θέμα. Και οι λόγοι είναι οι εξής:

- Οι γαλαξίες είναι πολύ πιο περίπλοκα συστήματα από ό,τι οι αστέρες. Παρατηρούνται δύσκολα και δύσκολα ερμηνεύονται τα παρατηρησιακά δεδομένα που προκύπτουν.
- Άμεσες παρατηρήσεις για το σχηματισμό των γαλαξιών δεν υπάρχουν. Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι οι γαλαξίες σχηματίστηκαν όλοι μαζί μια συγκεκριμένη εποχή στο παρελθόν, πιθανότατα πριν 10 με 20 δισεκατομμύρια χρόνια.

Πιστεύουν ακόμα ότι οι γαλαξίες **εξελίσσονται** σταδιακά, για τους εξής λόγους:

1) Αποτελούνται από αστέρες και μεσοαστρική ύλη. Οι αστέρες, όπως ήδη γνωρίζουμε, γεννιούνται, εξελίσσονται και πεθαίνουν. Η διεργασία αυτή τροφοδοτεί τους γαλαξίες με βαρύτερα χημικά στοιχεία, και κατά συνέπεια η χημική σύστασή τους μεταβάλλεται. Η ίδια διαδικασία μεταβάλλει και τη λαμπρότητα τους.

2) Εξαιτίας της βαρυτικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των μελών του.

3) Εξαιτίας της βαρυτικής αλληλεπίδρασής τους με άλλους γειτονικούς γαλαξίες.

Παρ' όλο που δεν είναι δυνατό να παρατηρήσουμε άμεσα τις αλλαγές που υφίσταται ένας γαλαξίας, μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την εξέλιξή του παρατηρώντας και συγκρίνοντας γαλαξίες που βρίσκονται σε διάφορες αποστάσεις. Όσο πιο μακριά βρίσκεται ένα ουράνιο αντικείμενο τόσο πιο μεγάλη διαδρομή κάνει η ακτινοβολία που εκπέμπει για να φτάσει σε μας.

Άρα, όσο πιο μακριά βρίσκονται τα αντικείμενα που παρατηρούμε τόσο πιο βαθιά βλέπουμε στο παρελθόν. Για παράδειγμα, όταν παρατηρούμε το γαλαξία της Ανδρομέδας, που απέχει 2,5 εκατομμύρια έτη φωτός από τη Γη, στην πραγματικότητα παρατηρούμε το γαλαξία αυτόν, όπως ήταν πριν 2,5 εκατομμύρια χρόνια.

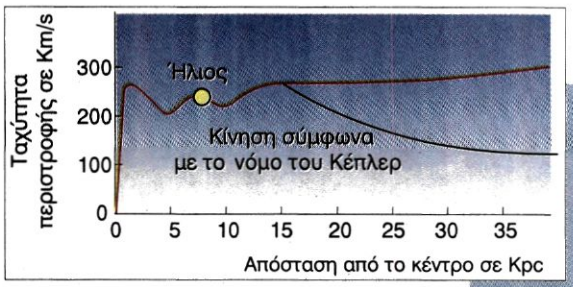
Η εικ. 6.30 δείχνει μια κατανομή γαλαξιών σε σχέση με την απόστασή τους. Τα σχόλια που την ακολουθούν δίνουν ανάγλυφα την πιθανή εξέλιξή τους.

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

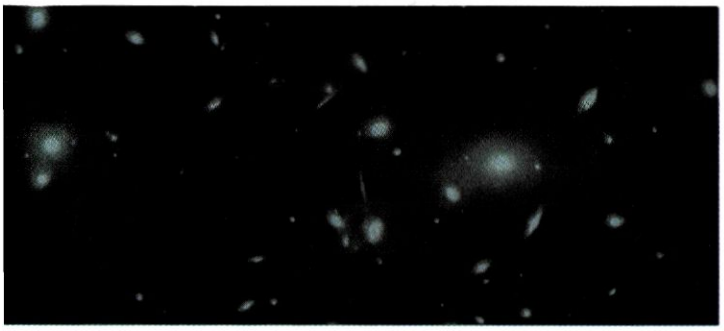
Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι οι γαλαξίες σχηματίστηκαν σε μια συγκεκριμένη περίοδο περίπου πριν από 10 με 20 δισεκατομμύρια έτη ή μερικές εκατοντάδες εκατομμύρια έτη μετά τη γένεση του ίδιου του Σύμπαντος. Πώς όμως σχηματίστηκαν;

Οι μέχρι σήμερα παρατηρήσεις και θεωρητικές μελέτες τείνουν να διαμορφώσουν μια εικόνα αρκετά πειστική.

Σύμφωνα με το επικρατέστερο μοντέλο, αρχικά η ύλη του Σύμπαντος ήταν ομοιόμορφα διασπαρμένη. Ωστόσο, μικρές τυχαίες διαταραχές στην πυκνότητά της δημιούργησαν μικρές συγκεντρώσεις ύλης σαν φουσκάλες αερίων. Η ισχυρότερη βαρύτητα κάθε



Σχήμα 6.31: Το διάγραμμα αυτό δείχνει την ταχύτητα περιστροφής των μελών του Γαλαξία και αυτή που θα έπρεπε να ήταν, σύμφωνα με τους νόμους του Κέπλερ. Η διαφορά αυτή εξηγείται μόνο, αν δεχτούμε την ύπαρξη σκοτεινής ύλης στο Γαλαξία.

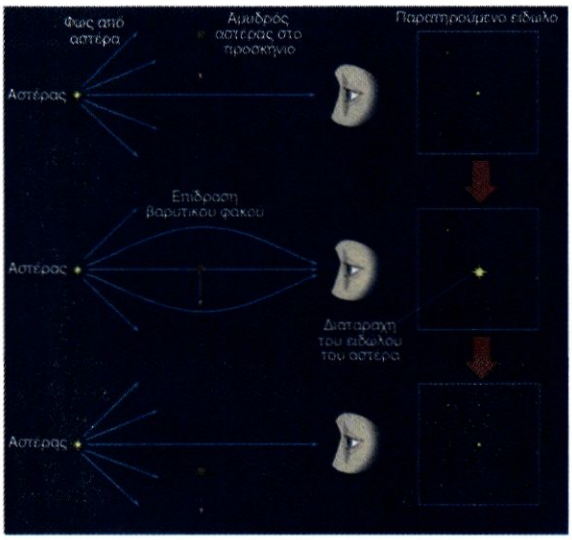


Εικόνα 6.32: Ένας γαλαξίας που βρίσκεται μπροστά από έναν άλλο γαλαξία ή από ένα κβάζαρ προκαλεί απόκλιση στις ακτίνες φωτός τους. Επίσης σμήνη γαλαξιών, που περιέχουν χιλιάδες γαλαξίες και συνολικές μάζες 10^{14} - 10^{15} ηλιακές μάζες, κατανεμημένα μέσα σε μια ακτίνα πολλών Mpc δρουν ως βαρυτικοί φακοί και προκαλούν μεγέθυνση και παραμόρφωση των γαλαξιών και των κβάζαρς, που βρίσκονται πίσω τους. Το Hubble Space Telescope (HST) έχει πάρει μερικές θεαματικές φωτογραφίες βαρυτικών φακών στο σμήνος Abell 2218.

τέτοιας συγκέντρωσης ήταν η αιτία που προσέλκυσε και άλλο υλικό από τον περιβάλλοντα χώρο και έτσι συνέχισε να μεγαλώνει. Η διαδικασία της συσσώρευσης όλο και μεγαλύτερης μάζας σε ορισμένες περιοχές με ταυτόχρονη αύξηση της βαρυτικής έλξης, είχε αποτέλεσμα τη δημιουργία σχηματισμών μεγάλου όγκου, τους γαλαξίες.

Η ύλη που παρέμεινε μεταξύ των γαλαξιών ήταν ελάχιστη. Οι μικρότερες συγκεντρώσεις ύλης εξελίχτηκαν σε μεμονωμένους γαλαξίες, ενώ οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις δημιούργησαν τα σμήνη των γαλαξιών.

Η περιστροφή και η ακτινοβολία αυτών των σχηματισμών μαζί με τη συστολή τους λόγω βαρύτητας προσδιόρισε στη συνέχεια τη μορφή και την εξέλιξή τους.



Εικόνα 6.33: Το διάγραμμα δείχνει τη διαταραχή (αναλαμπή) του ειδώλου ενός αστέρα, όταν το φως του διέρχεται από ένα βαρυτικό φακό.

Η ΣΚΟΤΕΙΝΗ ΥΛΗ ΣΤΟ ΣΥΜΠΑΝ

Κλείνοντας αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε σε ένα άλλο μεγάλο ζήτημα που σχετίζεται με τους γαλαξίες. Είναι το θέμα της **σκοτεινής ύλης** στο Σύμπαν.

Ο υπολογισμός της μάζας της ύλης του Σύμπαντος, όπως προκύπτει από τα δεδομένα των κινήσεων των γαλαξιών, έδειξε ότι είναι πολύ μεγαλύτερη από την παρατηρούμενη συνολικά.

Προκειμένου οι επιστήμονες να εξηγήσουν την αντίφαση αυτή, δέχτηκαν στη δεκαετία του 1970 την ύπαρξη μη παρατηρούμενης ύλης. Η ύλη αυτή μπορεί να είναι πλανήτες ή πάρα πολύ αμυδροί αστέρες διασκορπισμένοι στο διάστημα ή ακόμα και μια τεράστια μάζα από υποατομικά σωματίδια.

Είναι γνωστό ότι οι σπειροειδείς γαλαξίες, όπως ο δικός μας, περιβάλλονται από άλω, η οποία εκτείνεται μέχρι και 50 Kpc από το κέντρο τους. Τα γεγονός αυτό απαιτεί η μάζα κάθε τέτοιου γαλαξία να είναι 3 έως 10 φορές περισσότερη απ' όση μπορεί να μετρηθεί. Το ίδιο ισχύει και για τους ελλειπτικούς γαλαξίες. Κάτι ανάλογο, αλλά σε μεγαλύτερο βαθμό, ισχύει και για τα σμήνη των γαλαξιών. Δηλαδή, για να συγκρατούνται οι γαλαξίες στα σμήνη τους, πρέπει αυτά να έχουν 10 έως 100 φορές μεγαλύτερη μάζα από αυτή που παρατηρείται. Τελικά σε ολόκληρο το Σύμπαν υπάρχει σκοτεινή ύλη, η οποία, όπως πιστεύεται, καλύπτει το 90% αυτού.

Πώς μετράμε την ταχύτητα με την οποία απομακρύνεται ένας γαλαξίας από τη Γη;

Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 5, η μέτρηση της ακτινικής ταχύτητας ενός ουράνιου σώματος ως προς τη Γη γίνεται με βάση το φαινόμενο Doppler. Σύμφωνα με αυτό, αν το μήκος κύματος λ_0 μιας φασματικής γραμμής του φάσματος ενός γαλαξία βρίσκεται μετατοπισμένο κατά Δλ προς την περιοχή του ερυθρού, τότε ο γαλαξίας απομακρύνεται από τη Γη με ταχύτητα

$$V_R=(\Delta\lambda/\lambda_0)\cdot c \qquad (7.3)$$

όπου **c** είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Ο αστρονόμος Slipher κατέγραψε τα φάσματα της ακτινοβολίας αρκετών γαλαξιών. Διαπίστωσε μια σημαντική μετατόπιση των φασματικών γραμμών προς το ερυθρό για όλους τους γαλαξίες που είναι εκτός της τοπικής ομάδας. Η μετατόπιση αυτή, σύμφωνα με το φαινόμενο Doppler, σημαίνει ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται ταχύτατα από το Γαλαξία.

Οι επιστήμονες έχουν ένα αρκετά δύσκολο πρόβλημα να λύσουν. Πρέπει να ανακαλύψουν, δηλαδή να «παρατηρήσουν» αυτήν την αόρατη ύλη. Και δεν είναι μόνο το πρόβλημα της παρατήρησής της. Πρέπει να εξηγηθεί και η έκτασή της. Ίσως στα επόμενα χρόνια καταφέρουν να τη χαρτογραφήσουν μέσω της εκπομπής ακτίνων Χ από θερμά αέρια ή χρησιμοποιώντας το φαινόμενο των βαρυτικών φακών. (εικ 6.32).

Στο εσωτερικό των γαλαξιακών σμηνών έχει ανιχνευθεί από διαστημικά τηλεσκόπια ακτινοβολία Χ, η οποία προέρχεται από αέριο υψηλής θερμοκρασίας (1.000 K) και πολύ μεγάλης μάζας.

Το αέριο αυτό είναι τόσο θερμό, που θα έπρεπε να είχε διασκορπιστεί στο εσωτερικό των σμηνών. Ωστόσο, παραμένει συγκεντρωμένο, εξαιτίας της βαρυτικής έλξης που ασκεί η σκοτεινή ύλη. Η μελέτη του αερίου θα προσδιορίσει ακριβώς τη δύναμη της βαρύτητας που το συγκρατεί και στη συνέχεια το ποσοστό της που αναλογεί στη σκοτεινή ύλη. Το τελευταίο θα δώσει και την κατανομή της σκοτεινής ύλης στο σμήνος.

Όταν το φως ενός μακρινού αντικειμένου ταξιδεύει προς εμάς, δέχεται την επίδραση της βαρύτητας οποιασδήποτε συγκεντρωμένης μάζας συναντά κατά τη διαδρομή του, όπως ακριβώς γίνεται και με τα υλικά σωματίδια. Έτσι οι φωτεινές ακτίνες εκτρέπονται από την αρχική τους πορεία, όπως εκτρέπονται, όταν περνούν μέσα από ένα φακό. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «βαρυτικός φακός» και οι επιστήμονες ελπίζουν ότι θα τους βοηθήσει να ανιχνεύσουν την ύπαρξη της σκοτεινής ύλης. Από τις παραμορφώσεις των ειδώλων των μακρινών αντικειμένων ελπίζουν να καταφέρουν να αποκαλύψουν και να χαρτογραφήσουν την αόρατη αυτή ύλη. Μέχρι σήμερα έχουν ανακαλυφτεί τουλάχιστον 35 τέτοιοι φακοί.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

• Στο παρόν κεφάλαιο μελετήσαμε τα μεγάλης κλίμακας ουράνια αντικείμενα, όπως είναι οι γαλαξίες, τα σμήνη γαλαξιών και τα υπερσμήνη γαλαξιών. Παράλληλα, αναζητώντας συνεχώς τέτοιους σχηματισμούς σε όλο και μεγαλύτερες αποστάσεις, ανακαλύπτουμε ιδιότητες που μας πληροφορούν για τις απαρχές της δημιουργίας του Σύμπαντος.

• Οι γαλαξίες που μέχρι σήμερα έχουν παρατηρηθεί και μελετηθεί είναι δύο ειδών. Στην πρώτη κατηγορία, που και χρονολογικά προηγείται, ανήκουν οι τυπικοί γαλαξίες ή γαλαξίες κατά Χαμπλ, δηλαδή οι ελλειπτικοί, οι σπειροειδείς και οι ανώμαλοι. Κύριος εκπρόσωπος των σπειροειδών γαλαξιών μπορεί να θεωρηθεί ο «δικός μας» Γαλαξίας, ο Milky Way Galaxy, όπως ονομάζεται διεθνώς. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι ενεργοί γαλαξίες, δηλαδή οι ραδιογαλαξίες, οι γαλαξίες Seyfert και τα κβάζαρς. Χρονολογικά η ανακάλυψή τους ακολουθεί, παρ' όλο που μερικοί από αυτούς βρίσκονται διασκορπισμένοι στην ίδια απόσταση με τους τυπικούς γαλαξίες.

• Η συστηματική μελέτη του Γαλαξία έδωσε τη δυνατότητα να διαπιστώσουμε τη δομή του καθώς και τα άλλα χαρακτηριστικά του. Ο κεντρικός πυρήνας και το γαλαξιακό εξόγκωμα απαρτίζουν την κεντρική του περιοχή. Αποτελείται από αέρια, σκόνη και νεαρούς κυρίως αστέρες. Από την κεντρική περιοχή ξεκινούν οι σπείρες του, οι οποίες αποτελούνται από αέρια, σκόνη και παλαιότερους αστέρες. Πέρα από τις σπείρες εκτείνεται η άλως του Γαλαξία που αποτελείται από μεσοαστρική ύλη, μεμονωμένους αστέρες και σμήνη αστέρων. Όλα αυτά περιστρέφονται γύρω από το γαλαξιακό κέντρο με μια περιοδική κίνηση, την οποία ο Ήλιος μας ολοκληρώνει σε 250 εκατομμύρια χρόνια περίπου.

• Οι τυπικοί γαλαξίες έχουν περίπου την ίδια δομή, παρ' όλο που μορφολογικά διαφέρουν. Παρατηρήσεις και μελέτες θεωρούν τους σπειροειδείς γαλαξίες ως μια εξέλιξη των ελλειπτικών γαλαξιών και αυτούς με τη σειρά τους ως μια εξέλιξη των ενεργών γαλαξιών και ιδιαίτερα των κβάζαρς.

• Η μελέτη των ενεργών γαλαξιών αποτελεί πρόκληση για τους επιστήμονες. Η ανακάλυψη των ραδιογαλαξιών και των γαλαξιών υπέρυθρης ακτινοβολίας και ακτινοβολίας ακτίνων Χ έδωσε τη δυνατότητα να μελετηθούν αυτά τα πολύ απομακρυσμένα αντικείμενα.

• Η κίνηση των μελών του Γαλαξία η οποία οφείλεται στη βαρύτητα, προϋποθέτει την ύπαρξη μιας μεγαλύτερης μάζας, που για την ώρα είναι αόρατη, της σκοτεινής ύλης.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποια είναι η δομή του Γαλαξία μας;

2. Ποια είναι η δομή και τα φυσικά χαρακτηριστικά της κεντρικής περιοχής του Γαλαξία μας;

3. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά της άλω του Γαλαξία;

4. Πώς ταξινομούνται οι γαλαξίες κατά Χαμπλ και ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά τους ανά κατηγορία;

5. Ποιος είναι ο νόμος του Χαμπλ;

6. Τι είναι τα σμήνη και τα υπερσμήνη των γαλαξιών;

7. Τι είναι ο κανιβαλισμός μεταξύ των γαλαξιών και τι ρόλο παίζει στην εξέλιξή τους;

8. Ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά των ενεργών γαλαξιών;

9. Που οφείλονται τα εκρηκτικά φαινόμενα που παρατηρούνται στους ενεργούς γαλαξίες;

10. Γιατί τα κβάζαρς παρατηρούνται κατά κανόνα σε μακρινές αποστάσεις;

11. Τι αποδείξεις υπάρχουν για την ύπαρξη σκοτεινής ύλης στο Σύμπαν;

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Ποια είναι η ταχύτητα απομάκρυνσης ενός γαλαξία που βρίσκεται σε απόσταση 200 Mpc, αν η σταθερά του Χαμπλ θεωρηθεί ότι είναι 75 Km/s/Mpc;

2. Το φάσμα ενός γαλαξία τύπου Seyfert δείχνει ότι η αέρια μάζα αυτού σε απόσταση 1 pc από το κέντρο του έχει ταχύτητα περιστροφής 1.000 Km/s. Υποθέτοντας ότι η κίνηση αυτής της αέριας μάζας είναι κυκλική και έχοντας υπόψη τον τρίτο νόμο του Κέπλερ ($\frac{P^2}{A^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$, όπου M είναι η ολική μάζα στο εσωτερικό της περιοχής του 1 pc, A η ακτίνα και P η περίοδος περιστροφής της, G η σταθερά της παγκόσμιας έλξης και $\pi^2 \simeq 10$), μπορείτε να υπολογίσετε τη μάζα M;

3. Οι λοβοί του ραδιογαλαξία A του Κενταύρου καλύπτουν μια απόσταση 1 Mpc; Ο ραδιογαλαξίας βρίσκεται σε απόσταση 4 Mpc από τη Γη. **Ποια είναι η γωνιακή του διάμετρος;** Μπορεί αυτή να συγκριθεί με **τη γωνιακή διάμετρο της Σελήνης;**

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Στον πίνακα που ακολουθεί καταγράφονται μερικοί γαλαξίες, οι αποστάσεις τους και οι ακτινικές ταχύτητες με τις οποίες απομακρύνονται από το Γαλαξία.

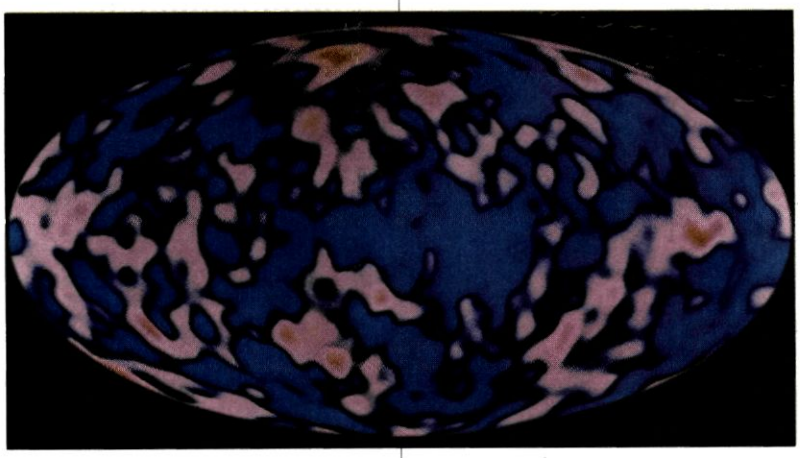
Όνομα γαλαξία NGC	Απόσταση από τη Γη σε Mly	Ταχύτητα απομάκρυνσης σε Km/s
55	10	120
4945	23	280
5055	35	570
3521	42	650
4486	72	1190

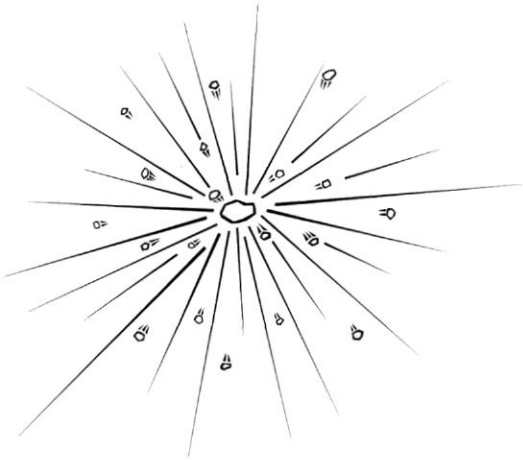
α) Σε ένα σύστημα ορθογωνίων αξόνων, στον οριζόντιο άξονα του οποίου μετράμε αποστάσεις και στον κατακόρυφο ταχύτητες, τοποθέτησε τα σημεία που αντιστοιχούν στα ζεύγη τιμών του πίνακα. Σχεδίασε την ευθεία που διέρχεται όσο το δυνατό πλησιέστερα στο σύνολό τους.

β) Με βάση το διάγραμμα που κατασκεύασες, υπολόγισε τη σταθερά του Hubble.

γ) Ένας γαλαξίας που απομακρύνεται με ταχύτητα 850Km/s από το Γαλαξία, σε πόση απόσταση βρίσκεται από αυτόν;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ





ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

«Μπορεί και μακριά πολύ μέσα στων ουρανών τ' αποκαΐδια

την Ανδρομέδα, την Άρκτο ή την Παρθένο...

Άραγες νά' ναι η μοναξιά σ' όλους τους κόσμους η ίδια;»

Οδ. Ελύτης, ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ ΕΝΟΣ

ΑΘΕΑΤΟΥ ΑΠΡΙΛΙΟΥ

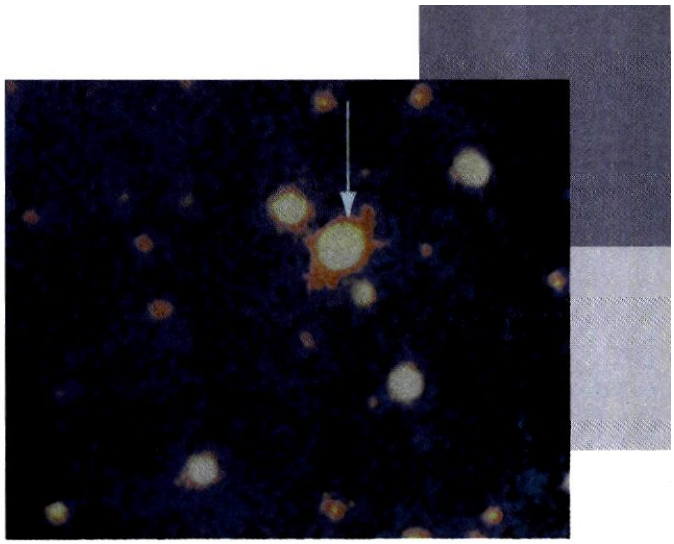
Στα προηγούμενα κεφάλαια μελετήσαμε τα ουράνια σώματα που παρατηρούμε στο Σύμπαν, τους πλανήτες τους αστέρες, τους γαλαξίες κτλ. Η μελέτη μας στηρίχτηκε στη γνωστή μας πλέον επιστημονική μέθοδο που χρησιμοποιείται στην Αστρονομία: Προσπαθήσαμε να ερμηνεύσουμε τη γένεση, τη δομή και την εξέλιξη κάθε ουράνιου αντικειμένου με τη βοήθεια θεωρητικών μοντέλων που στηρίζονται στις αστρονομικές παρατηρήσεις και στους νόμους της Φυσικής.

Τώρα θα επιχειρήσουμε ένα σημαντικό και ενδιαφέρον τελικό βήμα. Θα δούμε πώς διαμορφώνεται ένα μοντέλο που φιλοδοξεί να εξηγήσει τη δομή και την εξέλιξη ολόκληρου του Σύμπαντος. Κάθε τέτοια προσπάθεια στοχεύει να απαντήσει σε ερωτήματα που ανέκαθεν απασχόλησαν, όχι μόνο την Αστρονομία, αλλά και τη Φιλοσοφία, τις αρχαίες θρησκείες και τις μυθολογίες όλων των λαών:

– Πώς και γιατί δημιουργήθηκε το Σύμπαν;

– Πώς μεταβάλλεται και ποιο είναι το μέλλον του;

Ο τομέας της Αστρονομίας που ασχολείται με την επιστημονική έρευνα της γένεσης, της δομής και της εξέλιξης του Σύμπαντος ονομάζεται **Κοσμολογία.** Τα παρατηρησιακά δεδομένα της Κοσμολογίας αφορούν το σύνολο του Σύμπαντο σχετίζονται, δηλαδή, με φαινόμενα που έχουν παγκόσμιο χαρακτήρα. Οι κοσμολόγοι προσπαθούν να συνθέσουν την Ιστορία του Σύμπαντος στηριζόμενοι σε λίγα φαινόμενα κοσμολογικής σημασίας και στις γενικότερες θεωρίες της Φυσικής.



Εικόνα 7.1: Η εικόνα του κβάζαρ PKS 2349 που ελήφθη από το διαστημικό τηλεσκόπιο Χαμπλ.
Τα κβάζαρ είναι τα πλέον απομακρυσμένα από τη Γη αντικείμενα. Το φως τους, που φτάνει σήμερα στη Γη, ξεκίνησε πριν από εκατοντάδες εκατομμύρια ή και δισεκατομμύρια χρόνια. Μας δείχνει, επομένως, εικόνες του Σύμπαντος, όπως ήταν στο πολύ μακρινό παρελθόν του. Πότε όμως και πως γεννήθηκε η πρώτη ύλη στο Σύμπαν, αυτή από τη οποία σχηματίστηκαν οι αστέρες και οι γαλαξίες; Ο χώρος, ο χρόνος και η ύλη είχαν τότε την ίδια μορφή με τη σημερινή;

7.1 ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

Η σύνθεση των κοσμολογικών μοντέλων στηρίζεται σε τρεις βασικές υποθέσεις, που είναι γνωστές με τον ενιαίο όρο **«κοσμολογική αρχή»**: Στην *παγκοσμιότητα των φυσικών νόμων*, στην *ομοιογένεια* και στην *ισοτροπία* του Σύμπαντος.

Αν και υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις για την ορθότητά τους, οι υποθέσεις αυτές δεν είναι δυνατό να αποδειχτούν. Θεωρούνται λοιπόν πρωταρχικά αληθινές, εφόσον δε διαψεύδονται άμεσα ή έμμεσα από τα νεότερα παρατηρησιακά δεδομένα.

Η ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΝΟΜΩΝ

Το σύνολο των αντικειμένων από τα οποία συνίσταται το Σύμπαν μπορούμε να τα κατατάξουμε σε δύο κατηγορίες: α) Σε αυτά που αντιλαμβανόμαστε άμεσα με τις αισθήσεις μας. Για παράδειγμα, καθετί που χρησιμοποιούμε ή μας περιστοιχίζει στην καθημερινή μας

ζωή· ο Ήλιος, η Σελήνη, οι αστέρες που βλέπουμε με γυμνό μάτι ή τηλεσκόπιο ανήκουν σ' αυτήν την κατηγορία. β) Στα αντικείμενα των οποίων την ύπαρξη ανιχνεύουμε έμμεσα, με τη βοήθεια επιστημονικών οργάνων και των νόμων της Φυσικής. Τέτοια είναι, για παράδειγμα, τα άτομα, τα μόρια, τα στοιχειώδη σωματίδια, οι μελανές οπές, αστέρες και γαλαξίες που δεν μπορούμε να δούμε με οπτικά τηλεσκόπια κ.ά.

Οι μεταβολές και αλληλεπιδράσεις όλων αυτών των συμβάντων περιγράφονται από τους φυσικούς νόμους. Οι φυσικοί νόμοι ωστόσο ανακαλύφθηκαν από τον άνθρωπο με βάση πειράματα και παρατηρήσεις, που έγιναν μέσα στην ανθρώπινη ιστορία και πάνω στον πλανήτη Γη. Γεννιέται, επομένως, ένα ερώτημα:

«Οι φυσικοί νόμοι έχουν άραγε παγκόσμιο κύρος; Ισχύουν παντού στο Σύμπαν, σε κάθε τόπο και χρόνο;»

Αν και δεν είναι δυνατόν να αποδείξει κανείς την αλήθεια του ισχυρισμού αυτού ή του αντιθέτου, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις που τον υποστηρίζουν. Ας δούμε δύο παραδείγματα:

• Η φασματική ανάλυση των ακτινοβολιών που εκπέμπουν και οι πιο μακρινοί γαλαξίες δείχνει ότι και αυτοί αποτελούνται από τα ίδια στοιχεία με αυτά που γνωρίζουμε στη Γη.

• Οι κινήσεις των αστέρων και των γαλαξιών που έχουν μελετηθεί υπακούουν στους νόμους της Μηχανικής. Δηλαδή, στους ίδιους νόμους με τους οποίους περιγράφονται οι κινήσεις των πλανητών και των άλλων μελών του ηλιακού μας συστήματος ή μιας πέτρας που εκσφενδονίζουμε στον αέρα.

Δεχόμαστε λοιπόν την **παγκοσμιότητα των φυσικών νόμων** ως πρώτη βασική υπόθεση που είμαστε υποχρεωμένοι να κάνουμε, για να θεμελιώσουμε οποιοδήποτε κοσμολογικό μοντέλο.

Ώστε :

Υποθέτουμε ότι οι φυσικοί νόμοι έχουν παγκόσμια ισχύ. Εφαρμόζονται οι ίδιοι αναλλοίωτοι νόμοι σε κάθε περιοχή του Σύμπαντος και σε κάθε χρονικό διάστημα, στο παρελθόν ή στο μέλλον.

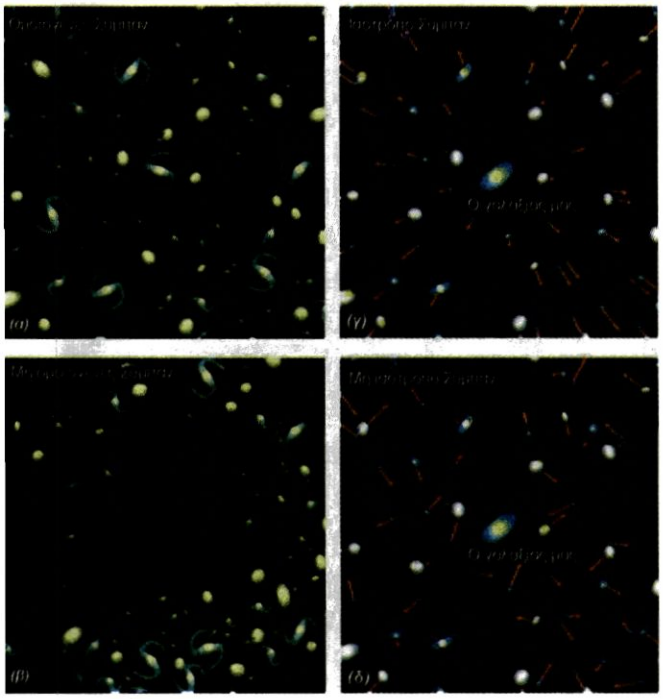
ΤΟ ΣΥΜΠΑΝ ΕΙΝΑΙ ΟΜΟΙΟΓΕΝΕΣ ΚΑΙ ΙΣΟΤΡΟΠΟ

Γνωρίσαμε σε προηγούμενες ενότητες ότι οι πυκνότητες της ύλης και της ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερες στους αστέρες και στους γαλαξίες, παρά στο μεσοαστρικό και μεσογαλαξιακό χώρο αντίστοιχα. Αν όμως υπολογίσουμε τις μέσες πυκνότητες της ύλης και της ακτινοβολίας πολύ μεγάλων περιοχών του Σύμπαντος, διαπιστώνουμε ότι οι τιμές τους είναι σταθερές και ανεξάρτητες από την απόσταση που μας χωρίζει από τις περιοχές αυτές.

Η μέτρηση του αριθμού των σμηνών των γαλαξιών έδειξε ότι η κατανομή τους είναι σχεδόν σταθερή σε συνάρτηση με την απόστασή τους από τη Γη. Σύμφωνα με τις υπάρχουσες παρατηρήσεις, φαίνεται ότι το Σύμπαν παρουσιάζει σημαντική ομοιογένεια σε αποστάσεις τουλάχιστον 1.000 Kpc.

Οδηγούμαστε στην υπόθεση ότι **η κατανομή της ύλης και της ενέργειας στο Σύμπαν είναι ομοιογενής.** Δηλαδή, δε μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την απόσταση από έναν επίγειο ή οποιοδήποτε ισοδύναμο παρατηρητή[1].

Οι μέσες πυκνότητες της ύλης και της ακτινοβολίας



Εικόνα 7.2 : α) Ομοιογενές Σύμπαν. β) Μη ομοιογενές Σύμπαν. γ) Ισότροπο Σύμπαν. δ) Μη ισότροπο Σύμπαν.

[1]*Ακριβέστερα: «... από έναν παρατηρητή που είναι ακίνητος σχετικά με το κέντρο της ύλης της περιοχής του, π.χ. του γαλαξία στον οποίο βρίσκεται». Ένας τέτοιος παρατηρητής ονομάζεται* ***θεμελιώδης.***

φαίνεται ότι δε μεταβάλλονται ούτε σε συνάρτηση με την κατεύθυνση στην οποία βρίσκεται η περιοχή του Σύμπαντος σε σχέση με τον παρατηρητή. Υποθέτουμε λοιπόν ότι **το Σύμπαν είναι ισότροπο: Η ύλη και η ακτινοβολία κατανέμονται ομοιόμορφα προς κάθε κατεύθυνση.**

Όπως η υπόθεση της ομοιογένειας, έτσι και αυτή της ισοτροπίας στηρίζεται σε ενδείξεις που προκύπτουν από τις αστρονομικές παρατηρήσεις:

– Σε οποιαδήποτε κατεύθυνση του χώρου ο αριθμός των γαλαξιών ανά μονάδα συμπαντικού χώρου που μπορούμε να μετρήσουμε είναι περίπου ο ίδιος.

– Μετρήσεις της έντασης της ακτινοβολίας μικροκυμάτων και των ακτίνων Χ έδειξαν ότι είναι ανεξάρτητη από τον προανατολισμό του συλλέκτη της ακτινοβολίας.

Η υπόθεση της ομοιογένειας και της ισοτροπίας του Σύμπαντος μπορεί να αποδοθεί με την ακόλουθη πρόταση:

Οι φυσικές ιδιότητες του Σύμπαντος, πέρα από τοπικές ανομοιομορφίες, είναι οι ίδιες προς κάθε κατεύθυνση και ανεξάρτητες από τη θέση του παρατηρητή (εικόνα 7.2).

7.2 Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ HUBBLE ΚΑΙ Η Η ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ. Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

Στην προηγούμενη παράγραφο διατυπώσαμε τις υποθέσεις από τις οποίες ξεκινάει η κατασκευή ενός κοσμολογικού μοντέλου. Στην παρούσα θα εκθέσουμε δύο από τα πλέον σημαντικά για την Κοσμολογία δεδομένα των αστρονομικών παρατηρήσεων. Πρόκειται για το **νόμο του Hubble** και την **ακτινοβολία υποβάθρου.** Και τα δύο αφορούν συνολικές ιδιότητες του Σύμπαντος και όχι κάποιων επιμέρους στοιχείων του. Επομένως, κάθε θεωρία για το Σύμπαν οφείλει να τα προβλέπει και να δίνει την ερμηνεία τους.

Η ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΤΟΥ ΧΑΜΠΛ ΚΑΙ Η ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

Στο κεφάλαιο 6 γνωρίσαμε το νόμο του Χαμπλ: Οι πλέον μακρινοί γαλαξίες απομακρύνονται από το Γαλαξία με ακτινικές ταχύτητες που είναι ανάλογες των αποστάσεών τους από αυτόν:

$$\boxed{\upsilon = H \cdot d}$$

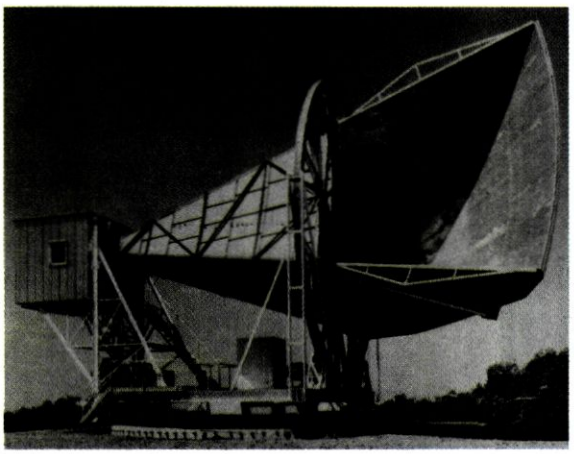
όπου **υ**: είναι το μέτρο της ακτινικής ταχύτητας με την οποία απομακρύνεται ένας γαλαξίας από το Γαλαξία σε Km/s, **d** είναι η απόστασή του από το Γαλαξία σε Mly (1Mly=10^6 έτη φωτός) και **Η** είναι η **σταθερά του Hubble**, της οποίας μια αποδεκτή τιμή είναι 20 Km/s/Mly.

Πώς ερμηνεύται ο νόμος του Hubble και ποια είναι η σημασία του;

Με μια πρώτη ματιά φαίνεται ότι ο Γαλαξίας έχει μια ιδιαίτερη θέση στο Σύμπαν, σαν να βρίσκεται στο κέντρο του και όλοι οι άλλοι γαλαξίες να απομακρύνονται ακτινικά από αυτόν. Ωστόσο, η ερμηνεία αυτή έρχεται σε αντίθεση με την αρχή της ομοιογένειας του Σύμπαντος (βλ. παράγραφο 7.1.), σύμφωνα με την οποία όλες οι θέσεις παρατήρησης στο χώρο είναι ισοδύναμες.

Αν ο νόμος του Hubble είναι συμβιβαστός με την αρχή της ομοιογένειας, τότε πρέπει να ισχύει και για έναν παρατηρητή που βρίσκεται σε έναν οποιονδήποτε άλλο γαλαξία. Ο παρατηρητής αυτός πρέπει να βλέπει όλους τους άλλους γαλαξίες να απομακρύνονται από αυτόν με τον ίδιο τρόπο που εμείς τους βλέπουμε να απομακρύνονται από το δικό μας. Πώς όμως αυτό είναι δυνατό;

Για να το καταλάβουμε, ας φανταστούμε ένα σφαιρικό μπαλόνι, στην επιφάνεια του οποίου έχουμε σχεδιάσει με ένα στυλό στίγματα (βλ. και σχετική δραστηριότητα στο τέλος του κεφαλαίου).



Εικόνα 7.3: Η κεραία κερατοειδούς σχήματος, με την οποία οι Penzias και Wilson ανακάλυψαν το 1965 την ακτινοβολία υποβάθρου.

Αν αρχίσουμε να το φουσκώνουμε, παρατηρούμε ότι τα στίγματα απομακρύνονται μεταξύ τους.

Από οποιοδήποτε στίγμα και αν κάνουμε την παρατήρηση, βλέπουμε ότι όλα τα υπόλοιπα απομακρύνονται από αυτό. Επιπλέον, όσο πιο απομακρυσμένα μεταξύ τους είναι δύο στίγματα τόσο περισσότερο αυξάνεται η απόσταση που τα χωρίζει καθώς φουσκώνουμε το μπαλόνι.

Στο σημείο αυτό δεν είναι δύσκολο να προβούμε σε μια πολύ σημαντική διαπίστωση:

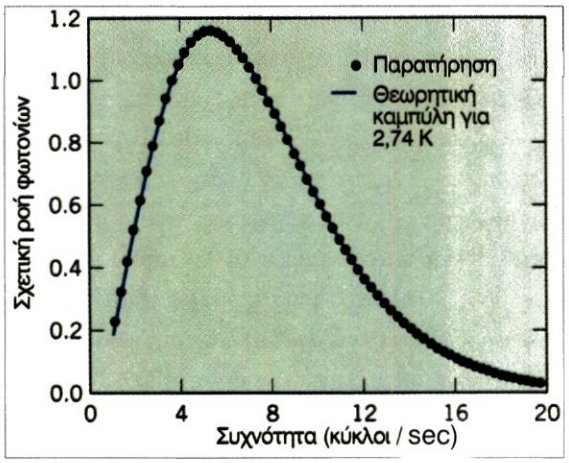
Τα στίγματα δεν κινούνται πάνω στην επιφάνεια του μπαλονιού. Η σχετική τους απομάκρυνση οφείλεται στη διαστολή της ίδιας της επιφάνειας πάνω στην οποία βρίσκονται.

Ένα ελάχιστο βήμα μας χωρίζει πλέον από την ερμηνεία του φαινομένου της φυγής των γαλαξιών και του νόμου του Hubble. Αρκεί να κάνουμε στο μυαλό μας τις σωστές αντιστοιχίσεις και συγκρίσεις μεταξύ του απλού πειράματος που περιγράψαμε και των πραγματικών φαινομένων. Η σημαντικότερη ίσως διαφορά τους βρίσκεται στο ότι η επιφάνεια του μπαλονιού έχει δύο διαστάσεις, ενώ ο πραγματικός χώρος τρεις. Καταλήγουμε λοιπόν στο ακόλουθο συμπέρασμα:

Η φυγή των γαλαξιών και ο νόμος του Hubble ερμηνεύονται στα πλαίσια της αρχής της ομοιογένειας του Σύμπαντος, αν δεχτούμε ότι ολόκληρο το Σύμπαν διαστέλλεται ομοιόμορφα[1].

Ώστε, η προσπάθεια ερμηνείας του νόμου του Hubble μας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι το Σύμπαν διαστέλλεται. Το φαινόμενο αυτό αφορά ολόκληρο το Σύμπαν και όχι κάποιο τμήμα του.

Η διαστολή του Σύμπαντος έχει, επομένως, κοσμολογικό χαρακτήρα. αποτελεί μια θεμελιώδη προϋπόθεση που πρέπει να ικανοποιείται από οποιοδήποτε θεωρητικό μοντέλο αναφέρεται σ' αυτό.



Σχήμα 7.4: Το φάσμα της ακτινοβολίας υποβάθρου, όπως μετρήθηκε από το δορυφόρο COBE. Παρατηρήστε τη σύμπτωση των δεδομένων των μετρήσεων και της θεωρητικής καμπύλης.

Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

Το Σύμπαν διαστέλλεται. Οι αποστάσεις μεταξύ των γαλαξιών αυξάνονται διαρκώς. Ας ακολουθήσουμε τώρα αντίστροφα την πορεία του χρόνου και ας φανταστούμε την εικόνα του Σύμπαντος σ' ένα πάρα πολύ μακρινό παρελθόν. Τότε, που οι αποστάσεις μεταξύ των υλικών σωμάτων ήταν ασφυκτικά μικρές, η συγκέντρωση της ύλης εξαιρετικά μεγάλη και οι βαρυτικές έλξεις, λόγω της υψηλής πυκνότητας, ήταν πολύ ισχυρές. Για να πραγματοποιηθεί η διαστολή του Σύμπαντος, έπρεπε να εξουδετερωθεί η προκαλούμενη από τη βαρύτητα τάση για συστολή. Αυτό όμως θα ήταν εφικτό μόνον, αν τα σωματίδια της ύλης κινούνταν με πολύ μεγάλες ταχύτητες.

Επομένως, την εποχή αυτή το Σύμπαν θα πρέπει να ήταν υπερβολικά πυκνό και θερμό[2] και η ύλη να βρισκόταν σε κατάσταση πλήρους ιονισμού.

Γνωρίζουμε όμως ότι ένα πολύ πυκνό και θερμό σώμα εκπέμπει ακτινοβολία συνεχούς φάσματος (βλ. παράγραφο 2.2. –ακτινοβολία του μελανού σώματος). Όσο πιο υψηλή είναι η θερμοκρασία του, τόσο περισσότερο μετατοπισμένο προς μικρότερα μήκη κύματος είναι το φάσμα της ακτινοβολίας του. Αν υποθέσουμε ότι ζούσαμε την εποχή αυτή, ο ουρανός δε θα φαινόταν μαύρος τη «νύχτα». Θα βλέπαμε φως λαμπρότερο από το ηλιακό, προερχόμενο όχι από συγκεκριμένη πηγή, να διαχέεται ομοιόμορφα σε όλον το χώρο!

[1] *Εκτός από την ομοιβαία τους απομάκρυνση, που οφείλεται στη διαστολή του Σύμπαντος, οι γαλαξίες κάνουν βέβαια και άλλες κινήσεις. Η αιτία των κινήσεων αυτών είναι οι βαρυτικές αλληλεπιδράσεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους.*

[2] *Υπενθυμίζεται ότι η απόλυτη θερμοκρασία ενός σώματος είναι ανάλογη προς τη μέση κινητική ενέργεια των δομικών του σωματιδίων. Όταν οι ταχύτητές τους έχουν μεγάλες τιμές, είναι μεγάλη και η μέση κινητική τους ενέργεια, άρα και η θερμοκρασία του σώματος.*

Τι απέγινε η ακτινοβολία αυτή; Έχει απομείνει κάποιο ίχνος της που να μπορούμε να παρατηρήσουμε σήμερα και να επιβεβαιώνει τις υποθέσεις μας;

Οι φυσικοί Gamow, Alpher και Herman πρόβλεψαν ήδη από τη δεκαετία του 1940 ότι, καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται, ψύχεται. Επομένως, και το φάσμα της ακτινοβολίας αυτής θα πρέπει να μετατοπίζεται συνεχώς προς μεγαλύτερα μήκη κύματος. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι σήμερα ολόκληρος ο χώρος πρέπει να διαχέεται ομοιόμορφα από μια ακτινοβολία μελανού σώματος θερμοκρασίας περίπου 5 K. Το φάσμα της βρίσκεται στην περιοχή των μικροκυμάτων.

Η επιβεβαίωση ήρθε το 1965 από τους φυσικούς Penzias και Wilson. Με την κεραία που κατασκεύασαν (εικ. 7.3) ανακάλυψαν μια ακτινοβολία που έρχεται με την ίδια ένταση από κάθε κατεύθυνση του χώρου. Βρήκαν ότι έχει τη μέγιστη έντασή της σε μήκος κύματος 7,35 cm και αντιστοιχεί σε ακτινοβολία μελανού σώματος θερμοκρασίας 3,5 K (-269,5 C).

Η ακτινοβολία αυτή ονομάστηκε **ακτινοβολία υποβάθρου** και χαρακτηρίζεται από μεγάλη ομοιογένεια και ισοτροπία. Το γεγονός αυτό ενισχύει σημαντικά τις υποθέσεις της ομοιογένειας και της ισοτροπίας του Σύμπαντος και συμβιβάζεται απόλυτα με την ιδέα της ομοιόμορφης διαστολής του.

Είδαμε σε προηγούμενα κεφάλαια ότι η ατμόσφαιρα της Γης προκαλεί σοβαρά προβλήματα στη μελέτη των ακτινοβολιών που έρχονται από το διάστημα. Για το λόγο αυτό, η λεπτομερής μελέτη της ακτινοβολίας υποβάθρου έγινε από το δορυφόρο COBE (Cosmic Background Explorer). Η μελέτη αυτή έδειξε ότι το φάσμα της ακτινοβολίας υποβάθρου είναι ίδιο με το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπει μελανό σώμα θερμοκρασίας 2,7 K (σχ. 7.4).

Ισοδυναμία ύλης και ενέργειας: Αν ένα σώμα μάζας **m** μετατραπεί με οποιαδήποτε διαδικασία πυρηνικών αντιδράσεων εξ ολοκλήρου σε ακτινοβολία, τότε η ενέργεια (**E**) που ελευθερώνεται είναι:

$$E=mc^2$$

όπου **c** η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Σωματίδια αντιύλης: Είναι στοιχειώδη σωματίδια που έχουν την ίδια μάζα με τα αντίστοιχα σωματίδια της ύλης, αλλά οι τιμές των υπολοίπων φυσικών μεγεθών που τα χαρακτηρίζουν είναι αντίθετες. Έτσι π.χ.:

Το αντιπρωτόνιο είναι το αντισωματίδιο του πρωτονίου. Έχει ίδια μάζα με αυτό και αρνητικό φορτίο ίσης απόλυτης τιμής με το φορτίο του πρωτονίου.

Το ποζιτρόνιο είναι το αντισωματίδιο του ηλεκτρονίου. Έχουν ίσες μάζες και αντίθετα φορτία.

7.3 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΚΡΗΞΗΣ (BIG BANG)

Η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης με όλες τις σύγχρονες παραλλαγές και βελτιώσεις της είναι η πλέον αποδεκτή εκδοχή της Ιστορίας του Σύμπαντος σήμερα.

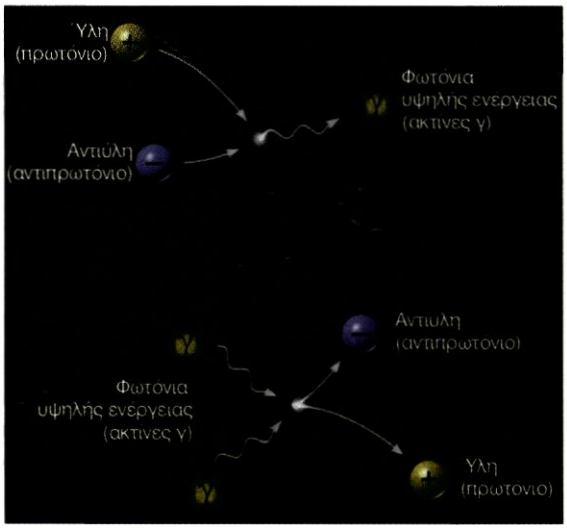
Παρά τα αναπάντητα προβλήματα που υπάρχουν ακόμα, το μοντέλο αυτό εξηγεί πολύ ικανοποιητικά σχεδόν το σύνολο των παρατηρησιακών δεδομένων που υπάρχουν μέχρι στιγμής: Το νόμο του Hubble, την ακτινοβολία υποβάθρου, τον τρόπο σύνθεσης των ελαφρών στοιχείων (H, He, Li κ.ά.), τη μεταβολή της πυκνότητας των γαλαξιών σε συνάρτηση με το χρόνο κτλ.

Η κατασκευή του μοντέλου στηρίζεται στις γενικότερες θεωρίες της Φυσικής. Η σχέση χώρου, χρόνου και ύλης απορρέουν από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν. Η συμπεριφορά της ύλης στις διαδοχικές φάσεις της ζωής του Σύμπαντος προβλέπεται από τη Κβαντική Φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων.

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ-ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΤΟΥ

Με δεδομένα τη διαστολή του Σύμπαντος και την ακτινοβολία υποβάθρου, στην παράγραφο 7.2 καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι όσο πιο πίσω στο παρελθόν κοιτάζουμε τόσο πυκνότερο και θερμότερο ήταν το Σύμπαν. Οδηγούμαστε λοιπόν στην υπόθεση ότι το Σύμπαν, δηλαδή ο χώρος, ο χρόνος, η ύλη και η ακτινοβολία, δημιουργήθηκαν με μια μεγάλη έκρηξη σε μια συγκεκριμένη στιγμή στο παρελθόν. Από τη στιγμή αυτή της δημιουργίας του χρόνου (t=0) ξεκίνησε και η διαστολή του Σύμπαντος. Υπολογίστηκε ότι αυτό συνέβη πριν από 10 έως 20 δισεκατομμύρια χρόνια.

Η Μεγάλη Έκρηξη από την οποία γεννήθηκε το Σύμπαν είναι ένα φαινόμενο, του οποίου δεν υπάρχει ανάλογο στον κόσμο που ζούμε. Ο νους μας δεν μπο-



Σχήμα 7.5: α) Δημιουργία βαρέων σωματιδίων ύλης (πρωτόνιο) και αντιύλης (αντιπρωτόνιο) από την αλληλεπίδραση δύο φωτονίων υψηλής ενέργειας (ακτίνες γ μεγάλης συχνότητας).
β) Από την αμοιβαία καταστροφή δύο αντισωματιδίων (πρωτονίου - αντιπρωτονίου) παράγεται φωτόνιο γ υψηλής ενέργειας.
Διαδικασίες σαν αυτές κυριάρχησαν κατά την αδρονική φάση και οδήγησαν σε μια δυναμική ισορροπία ύλης, αντιύλης και ακτινοβολίας. Ωστόσο οι διαδικασίες σχηματισμού σωματιδίων και αντισωματιδίων δεν είναι εντελώς ισοπίθανες. Από την ελάχιστη αυτή ασυμμετρία ευνοείται η ύλη. Έτσι το Σύμπαν αποτελείται σήμερα σχεδόν αποκλειστικά από σωματίδια ύλης.

ρεί να το κατανοήσει στηριζόμενος στην εμπειρία του. Είναι, επομένως, απαραίτητες ορισμένες διευκρινίσεις:

α) Δεν πρέπει να φανταζόμαστε ότι η Μεγάλη Έκρηξη έγινε σε κάποιο σημείο του χώρου, όπως π.χ. εκρήγνυται μια χειροβομβίδα, και από τότε το Σύμπαν διαστέλλεται μέσα σ' αυτόν. Αντίθετα, η έκρηξη συνέβη σε ολόκληρο το χώρο ταυτόχρονα τη στιγμή της δημιουργίας του. Η ύλη και η ακτινοβολία δημιουργήθηκαν ομοιόμορφα την ίδια στιγμή σε κάθε σημείο του χώρου και μαζί με αυτόν.

β) Δεν έχει νόημα η ερώτηση «τι υπήρχε πριν τη Μεγάλη Έκρηξη;» Ο χρόνος δημιουργήθηκε μαζί με το χώρο, την ύλη και την ακτινοβολία ακριβώς τη στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης.

γ) Δε γνωρίζουμε γιατί και πώς έγινε η Μεγάλη Έκρηξη. Επίσης δεν είμαστε σε θέση να περιγράψουμε την κατάσταση του Σύμπαντος από τη στιγμή της δημιουργίας του (t=0) μέχρι 10^{-43} δευτερόλεπτα μετά από αυτήν[1]. Στις εξαιρετικά ιδιάζουσες συνθήκες της περιόδου αυτής οι έννοιες και οι νόμοι της σύγχρονης Φυσικής αποδεικνύονται ανεπαρκείς και μη εφαρμόσιμοι.

Μπορούμε όμως σήμερα να περιγράψουμε την εξέλιξη του Σύμπαντος με βάση τις θεωρίες της Φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων 10^{-35}s από τη Μεγάλη Έκρηξη και μετά[2]. Η ιστορία του Σύμπαντος μπορεί να υποδιαιρεθεί σε τέσσερις περιόδους: α) Την περίοδο των **αδρονίων** (ή βαρέων σωματιδίων) β) Την περίοδο των **λεπτονίων** (ή ελαφρών σωματιδίων) γ) Την περίοδο του **πλάσματος** και δ) Την περίοδο της **ύλης.** Οι περίοδοι (α), (β) και (γ) συνιστούν την **εποχή της ακτινοβολίας,** ενώ η (δ) **την εποχή της ύλης.** Κατά την εποχή της ακτινοβολίας το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του Σύμπαντος βρίσκεται στα φωτόνια. Αντίθετα, την εποχή της ύλης η ενέργεια βρίσκεται κυρίως σε υλική μορφή.

Κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών των φάσεων της κοσμικής ιστορίας είναι η διαστολή του Σύμπαντος που ακολούθησε τη Μεγάλη Έκρηξη.

Η διαστολή αυτή –που ήταν ταχύτατη στα αρχικά της στάδια– προκάλεσε συνεχή πτώση της θερμοκρασίας και της πυκνότητας του Σύμπαντος, όπως είδαμε και στην παράγραφο 7.2.

α) Περίοδος των αδρονίων

Διήρκεσε λιγότερο από 10^{-6}s μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Η θερμοκρασία του Σύμπαντος ήταν μεγαλύτερη από 10^{12} K. Στην περίοδο των αδρονίων, τα φωτόνια έχουν τόσο μεγάλη ενέργεια, ώστε μετασχηματίζονται σε σωματίδια ύλης και αντιύλης (για παράδειγμα, πρωτόνια και αντιπρωτόνια, σχ. 7.5). Ωστόσο, τα σωματίδια της ύλης, όταν συναντηθούν με τα αντισωματίδιά τους, καταστρέφονται αμοιβαία και παράγουν πάλι φωτόνια. Έτσι αποκαταστάθηκε μια πρόσκαιρη δυναμική ισορροπία. Η φάση αυτή χαρακτηρίζεται από ισόρροπη δημιουργία και καταστροφή αδρονίων. Το Σύμπαν αποτελείται από φωτόνια, σωματίδια ύλης και σωματίδια αντιύλης ομοιόμορφα κατανεμημένα σ' όλο το χώρο.

β) Περίοδος των λεπτονίων

Διήρκεσε από 10^{-6} έως 6s μετά τη Μεγάλη Έκρηξη.

[1] *Το χρονικό αυτό διάστημα προκύπτει απ' την **αρχή της αβεβαιότητας** της Κβαντικής Μηχανικής και ονομάζεται χρόνος του Planck.*

[2] *Οι καταστάσεις του Σύμπαντος από 10^{-43}s έως 10^{-35}s καθώς και φαινόμενα που δεν προβλέπονται από τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης περιγράφονται από τις Μεγάλες Ενοποιημένες Θεωρίες (GUTs - Grand Unified Theories). Σύμφωνα με αυτές, οι τέσσερις δυνάμεις της Φύσης – η ισχυρή, η ασθενής, η ηλεκτρομαγνητική και η βαρυτική– τη στιγμή της έκρηξης ήταν ενοποιημένες. Οι διάφορες «αλλαγές της κατάστασης» του Σύμπαντος ερμηνεύονται από τις διαδοχικές αποδεσμεύσεις καθεμιάς δύναμης από τις υπόλοιπες.*

Οι πυρήνες του He παρουσιάζουν μεγάλη ευστάθεια. Δε διασπώνται ούτε αλλοιώνονται εύκολα, όταν αλληλεπιδρούν με άλλους πυρήνες ή σωματίδια. Έτσι το ήλιο που σχηματίστηκε την περίοδο του πλάσματος διατηρήθηκε μέχρι σήμερα. Επομένως, το ήλιο που υπάρχει στο σημερινό Σύμπαν προέρχεται από δύο πηγές: α) Από τη Μεγάλη Έκρηξη κατά την τρίτη φάση της Ιστορίας του Σύμπαντος. β) Από την πυρηνική «καύση» του υδρογόνου στο εσωτερικό των αστέρων.

Με βάση αυτά τα δεδομένα υπολογίστηκε ότι, αν η υπόθεση της Μεγάλης Έκρηξης είναι σωστή, η περιεκτικότητα των αστέρων και των γαλαξιών σε ήλιο πρέπει να είναι τουλάχιστον 25%.

Σε όσα ουράνια σώματα ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί μέτρηση της περιεκτικότητάς τους σε ήλιο, η πρόβλεψη αυτή επιβεβαιώθηκε, γεγονός που ενισχύει σημαντικά το μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης.

Η θερμοκρασία του Σύμπαντος μεταβλήθηκε από τους 10^{13} στους $6 \cdot 10^{9}$ K. Η γρήγορη διαστολή προκάλεσε πτώση της θερμοκρασίας και μείωση της ενέργειας των φωτονίων. Τα φωτόνια δεν μπορούν πλέον να δημιουργούν βαρέα σωματίδια. Μπορούν όμως να δημιουργούν ελαφρότερα (λεπτόνια) που απαιτούν λιγότερη ενέργεια. Οι πιο σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ στοιχειωδών σωματιδίων κατά την περίοδο των λεπτονίων ήταν:

– Η παραγωγή φωτονίων υψηλής ενέργειας από την αμοιβαία καταστροφή αντισωματιδίων, που συνεχίστηκε από την προηγούμενη περίοδο.

– Ο σχηματισμός ζευγών ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων από φωτόνια γ.

– Ο σχηματισμός νετρονίων από αντιδράσεις μεταξύ πρωτονίων και ηλεκτρονίων ή αντιπρωτονίων και ποζιτρονίων.

γ) Περίοδος πλάσματος

Διήρκεσε ένα εκατομμύριο χρόνια από τη Μεγάλη Έκρηξη. Η θερμοκρασία του Σύμπαντος μεταβλήθηκε από τους 10^{9} στους 3.000 K.

Κατά την περίοδο αυτή από τα πρωτόνια και τα νετρόνια που είχαν σχηματιστεί σε προηγούμενες φάσεις, δημιουργήθηκαν οι πυρήνες των ελαφρότερων στοιχείων: Πυρήνες των ισοτόπων του υδρογόνου (δευτερίου και τριτίου), ηλίου και σε μικρότερες αναλογίες λιθίου (Li) και βηρυλλίου (Be).

Λόγω της υψηλής ακόμα θερμοκρασίας, η ύλη είναι πλήρως ιονισμένη. Δηλαδή, δεν υπάρχουν ηλεκτρόνια γύρω από τους πυρήνες των ατόμων. Το Σύμπαν συμπεριφέρεται σαν ένα πολύ πυκνό και θερμό αέριο που αποτελείται από πρωτόνια, νετρόνια, ηλεκτρόνια, πυρήνες ελαφρών στοιχείων και ακτινοβολία.

Η ακτινοβολία αλληλεπιδρά ισχυρά με την ιονισμένη ύλη, το φάσμα της είναι συνεχές και διαχέεται ομοιόμορφα σε ολόκληρο το Σύμπαν. Πρόκειται για τον πρόγονο της ακτινοβολίας υποβάθρου, που μελετήσαμε στην παράγραφο 7.2.

δ) Περίοδος της ύλης

Διαρκεί από το τέλος της περιόδου του πλάσματος μέχρι σήμερα.

Όταν η θερμοκρασία έπεσε στους 3.000 K, έγινε δυνατός ο σχηματισμός των πρώτων ατόμων: Οι πυρήνες των ελαφρών στοιχείων, που είχαν ήδη συντεθεί, παγίδευσαν ηλεκτρόνια και δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα ουδέτερα άτομα: υδρογόνου, δευτερίου, τριτίου, ηλίου, λιθίου και βηρυλλίου.

Η ακτινοβολία δεν παγιδεύεται από την ουδέτερη πλέον ύλη και αποδεσμεύεται απ' αυτήν. Καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται και ψύχεται, η θερμοκρασία της μειώνεται μέχρι τη σημερινή τιμή των 2,7 K. Η ακτινοβολία αυτή δεν είναι άλλη από την ακτινοβολία υποβάθρου, της οποίας η ανακάλυψη αποτέλεσε πραγματικό θρίαμβο για τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης.

Κατά την περίοδο αυτή τοπικές διαταραχές της ομοιογένειας της κοσμικής ύλης προκάλεσαν το σχηματισμό των γαλαξιών και των αστέρων. Στους πυρήνες των αστέρων δημιουργήθηκαν τα υπόλοιπα γνωστά μας στοιχεία. Τελικά σε κάποιο (ή κάποια;) πλανητικά συστήματα διαμορφώθηκαν οι κατάλληλες προϋποθέσεις για την εμφάνιση της ζωής.

ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

Στην προηγούμενη παράγραφο μελετήσαμε την κοσμική ιστορία, σύμφωνα με το μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης. Ένα σημαντικό συμπέρασμα ήταν ότι ο βασικός δυναμικός παράγοντας της εξέλιξης και μεταβολής των καταστάσεων του Σύμπαντος είναι η διαστολή του. Έτσι και οι μελλοντικές καταστάσεις του προδιαγράφονται αποφασιστικά από την τύχη της διαστολής του.

Γνωρίζουμε ότι το Σύμπαν εξακολουθεί να διαστέλλεται. Στη διαστολή του, ωστόσο, αντιτίθεται η βαρύτητα, η οποία και την επιβραδύνει. Είναι άραγε η

Η ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ Η ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

Στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του **Αϊνστάιν** αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της σχέσης χώρου, χρόνου και βαρύτητας.

Το βασικό της αξίωμα είναι **η αρχή της ισοδυναμίας:** *Δύο παρατηρητές, από τους οποίους ο ένας βρίσκεται μέσα σε ομογενές πεδίο βαρύτητας και ο άλλος επιταχύνεται με σταθερή επιτάχυνση, θα αντιληφθούν τα ίδια φυσικά φαινόμενα και θα διατυπώσουν τους ίδιους φυσικούς νόμους.*

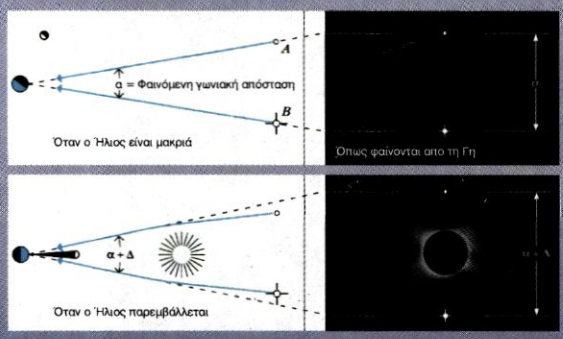
Από τις πλέον ενδιαφέρουσες προβλέψεις της θεωρίας είναι τα φαινόμενα της καμπύλωσης του χώρου και της καθυστέρησης του χρόνου που προκαλούνται από ένα ισχυρό βαρυτικό πεδίο.

Το φως κατά την κίνησή του στο κενό ή μέσα σε ένα ομοιογενές μέσο ακολουθεί πάντοτε μια διαδρομή ελάχιστου μήκους.

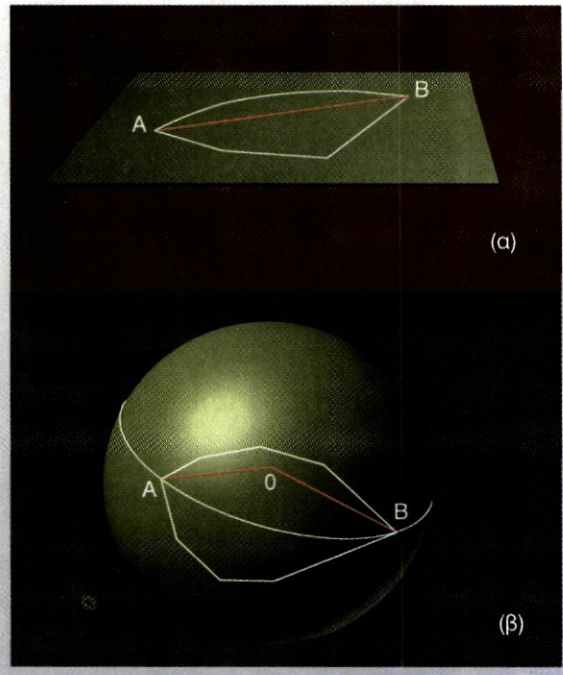
Στη Θεωρία της Σχετικότητας οι ιδιότητες του χώρου και του χρόνου είναι στενά συνυφασμένες. Οι μεταβλητές που προσδιορίζουν ένα γεγονός στο χώρο δεν μπορούν να θεωρηθούν ανεξάρτητες από το χρόνο στον οποίο συνέβη. Ο χώρος και ο χρόνος θεωρούνται ως ένα ενιαίο συνεχές που ονομάζεται **χωρόχρονος.** Έτσι τα φαινόμενα της καμπύλωσης του χώρου και της καθυστέρησης του χρόνου που προκαλούνται από τα βαρυτικά πεδία, ονομάζονται και τα δύο μαζί *καμπύλωση του* ***χωρόχρονου.***

Σε έναν Ευκλείδειο χώρο[1] η γραμμή ελάχιστου μήκους που συνδέει δύο σημεία είναι η ευθεία που διέρχεται από αυτά. Όταν όμως ο χώρος είναι καμπυλωμένος -μη Ευκλείδειος- η γραμμή ελάχιστου μήκους που συνδέει δύο σημεία δεν είναι πλέον ευθεία (σχ.7.7). Σε έναν τέτοιο χώρο ένα ελεύθερο υλικό σώμα[2] θα κινηθεί, όπως και το φως, πάνω σε μια καμπύλη γραμμή ελάχιστου μήκους.

Σύμφωνα με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, η καμπύλωση του χώρου προκαλείται από τη μάζα των υλικών σωμάτων, αυξανόμενη με αυτήν. Έτσι, όπως εύστοχα έχει ειπωθεί, η ύλη λέει στο χώρο πώς θα καμπυλωθεί, και ο χώρος στην ύλη πώς θα κινηθεί. Στην καμπύλωση του χώρου αποδίδεται η παρατηρούμενη απόκλιση της διεύθυνσης των φωτεινών ακτίνων, όταν περνάνε κοντά από τον Ήλιο (σχ. 7.6).



Σχήμα 7.6: Η γωνιακή απόσταση δύο αστέρων φαίνεται διαφορετική, όταν ο Ήλιος βρίσκεται ανάμεσά τους. Η παρατήρηση μπορεί βέβαια να γίνει μόνον κατά τη διάρκεια μιας ηλιακής έκλειψης, ώστε οι αστέρες να είναι ορατοί.
Η διαφορά οφείλεται στην απόκλιση των φωτεινών ακτίνων, όταν περνάνε κοντά στον Ήλιο. Οι ακτίνες αποκλίνουν λόγω της καμπύλωσης του χωρόχρονου που προκαλείται από το ισχυρό βαρυτικό πεδίο του Ήλιου.



Σχήμα 7.7: Σε έναν επίπεδο χώρο (α) η συντομότερη γραμμή που συνδέει δύο σημεία Α και Β είναι η ευθεία. Σε έναν καμπυλωμένο χώρο, όπως π.χ. η επιφάνεια μιας σφαίρας (β), ο συντομότερος δρόμος για να πάμε από το Α στο Β είναι το τόξο του κύκλου της σφαίρας που έχει κέντρο του το κέντρο της σφαίρας και διέρχεται από τα σημεία Α και Β. ή όπως λέμε ενός μέγιστου κύκλου.

Η εφαρμογή της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας σε ολόκληρο το Σύμπαν οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο χώρος μέσα στον οποίο ζούμε είναι καμπυλωμένος. Το είδος και το μέγεθος της καμπύλωσής του εξαρτάται από την πυκνότητα της ύλης του Σύμπαντος (βλ. και προηγούμενη παράγραφο).

Αν η πυκνότητα είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη τιμή, τότε η βαρύτητα αναγκάζει το χώρο να είναι καμπυλωμένος σφαιρικά. Το φως καμπυλώνεται σαν να κινείται πάνω στην επιφάνεια μιας σφαίρας και το Σύμπαν είναι τότε κλειστό.

Αν η πυκνότητα του Σύμπαντος είναι μικρότερη από την κρίσιμη τιμή, η καμπύλωση είναι αντίθετη από την προηγούμενη. Το φως ακολουθεί στην περίπτωση αυτή ελλειπτικές αποκλίνουσες καμπύλες γραμμές και το Σύμπαν είναι ανοιχτό.

Αν τέλος η πυκνότητα είναι ίση με την κρίσιμη, ο συμπαντικός χώρος δεν παρουσιάζει καμπύλωση. Είναι ένας Ευκλείδειος χώρος και το φως κινείται πάνω σε ευθείες γραμμές. Το Σύμπαν είναι τότε ανοιχτό και επίπεδο.

[1] *Ένας χώρος ονομάζεται Ευκλείδιος, όταν ισχύουν σ' αυτόν τα γνωστά αξιώματα της Ευκλείδιας Γεωμετρίας. Για παράδειγμα, ένα επίπεδο είναι ένας Ευκλείδιος χώρος. Ο πραγματικός χώρος είναι Ευκλείδιος σε τοπική κλίμακα και με την απουσία ισχυρών βαρυτικών πεδίων.*

[2] *Ελεύθερο υλικό σώμα: Είναι ένα σώμα πάνω στο οποίο δεν ασκούνται δυνάμεις. Στη Νευτώνεια Μηχανική ο χώρος θεωρείται Ευκλείδειος. Σύμφωνα με τον 1ο νόμο του Νεύτωνα, ένα ελεύθερο σώμα που κινείται από ένα σημείο σ' ένα άλλο θα ακολουθήσει την ευθεία που τα συνδέει. Ακολουθεί, δηλαδή, τη γραμμή ελάχιστου μήκους. Αν όμως ο χώρος δεν είναι Ευκλείδειος, οι γραμμές ελάχιστου μήκους είναι καμπύλες. Ένα ελεύθερο σώμα θα κινηθεί πάνω σε μια τέτοια γραμμή.*

βαρύτητα αρκετά ισχυρή, ώστε να ανακόψει κάποτε τη διαστολή εντελώς και να προκαλέσει συστολή του Σύμπαντος; Ή το Σύμπαν θα συνεχίσει να διαστέλλεται επ' άπειρον, έστω και με μειούμενο ρυθμό;

Όλα τα πιθανά σενάρια απορρέουν από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας: Το τι θα συμβεί εξαρτάται αποκλειστικά από το αν η πυκνότητα της ύλης του Σύμπαντος είναι μεγαλύτερη, ίση ή μικρότερη από μια κρίσιμη τιμή. Η κρίσιμη τιμή της πυκνότητας υπολογίστηκε θεωρητικά. Αν η σταθερά του Χαμπλ είναι 75 Km/s/Mpc, τότε βρίσκεται ότι:

$$d_c=5\cdot 10^{-27}\ Kg/m^3$$

Διαμορφώνονται λοιπόν τρία πιθανά ενδεχόμενα:

α) Αν η πραγματική τιμή της πυκνότητας (**d**) του Σύμπαντος είναι μικρότερη από την κρίσιμη ($\mathbf{d<d_c}$), τότε το Σύμπαν είναι *«ανοιχτό»* και θα διαστέλλεται παντοτινά.

β) Αν $\mathbf{d=d_c}$, τότε η διαστολή τείνει να σταματήσει οριακά σε άπειρο χρόνο. Το Σύμπαν είναι *«επίπεδο»*.

γ) Αν τέλος ισχύει $\mathbf{d>d_c}$, τότε η βαρύτητα είναι αρκετά ισχυρή, ώστε να σταματήσει κάποια χρονική στιγμή τη διαστολή του Σύμπαντος. Από τη στιγμή αυτή και μετά θα αρχίσει η συστολή του και διαγράφοντας αντίστροφα την Ιστορία του θα καταλήξει σε μια μελανή οπή. Στην περίπτωση αυτή το Σύμπαν είναι *«κλειστό»* (ή παλλόμενο).

Οι μέχρι σήμερα μετρήσεις της τιμής της πυκνότητάς του δείχνουν ότι είναι μικρότερη από την κρίσιμη τιμή. Το Σύμπαν φαίνεται ότι είναι ανοιχτό. Ωστόσο, δεν μπορεί να αποκλειστεί η ανατροπή αυτής της εκδοχής, αν στο μέλλον ανακαλυφθεί ύλη που δεν έχει ακόμα ανιχνευτεί. Το ζήτημα αυτό αναφέρεται στην Αστρονομία ως «πρόβλημα της σκοτεινής ύλης του Σύμπαντος» (παρ. 6.5).

Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ HUBBLE ΚΑΙ Η ΗΛΙΚΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

«Ποια είναι η ηλικία του Σύμπαντος; Πότε άρχισε η διαστολή του;»

Κοντά στη χρονική στιγμή μηδέν (t=0), που ξεκίνησε η διαστολή και μαζί με αυτή και η Ιστορία του Σύμπαντος, η ύλη και η ακτινοβολία βρίσκονταν περιορισμένες σε έναν πολύ «ασφυκτικό» χώρο. Αποστάσεις, που σήμερα είναι διαγαλαξιακής κλίμακας, τότε ήταν σχεδόν μηδενικές.

Ας υποθέσουμε ότι το Σύμπαν διαστέλλεται ομοιόμορφα και με σταθερό ρυθμό. Τότε η ταχύτητα απομάκρυνσης δύο σημείων του χώρου, λόγω της διαστολής, είναι σταθερή[1] και ανεξάρτητη από το χρόνο (βλ. και άσκηση 4 στο τέλος του κεφαλαίου).

Αν, επομένως, δύο γαλαξίες απομακρύνονται με ακτινική ταχύτητα **υ** και ονομάσουμε **t** την ηλικία του Σύμπαντος, τότε η σημερινή τους απόσταση είναι:

$$\mathbf{d=\upsilon\cdot t}$$

Σύμφωνα όμως με το νόμο του Hubble, ισχύει η σχέση:

$$\mathbf{\upsilon=H\cdot d}$$

Αντικαθιστούμε το **υ** στη σχέση και λύνουμε ως προς **t**, οπότε προκύπτει ότι:

$$\mathbf{t=1/H}$$

Δηλαδή, η ηλικία του Σύμπαντος είναι ίση με το αντίστροφο της σταθεράς του Hubble.

Για **H**=20Km/s/Mly και με δεδομένο ότι

$1Mly=10^6\cdot 3\cdot 10^5(Km/s)\cdot 365\cdot 24\cdot 3600s=9{,}46\cdot 10^8 Km$, έχουμε ότι

$\mathbf{t}=4{,}73\cdot 10^{17}s=1.5\cdot 10^{10}y$(έτη)

Ώστε, η ηλικία του Σύμπαντος που υπολογίστηκε με βάση το νόμο του Hubble είναι περίπου 15 δισεκατομύρια έτη.

[1]Ο ισχυρισμός αυτός αποτελεί υπεραπλούστευση. Στην πραγματικότητα οι βαρυτικές έλξεις προκαλούν μείωση της ταχύτητας διαστολής του Σύμπαντος σε συνάρτηση με το χρόνο. Στο πλαίσιο της προσέγγισης αυτής υπολογίζουμε τη μέγιστη πιθανή τιμή της ηλικίας του.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

• Όλα τα κοσμολογικά μοντέλα θεμελιώνονται πάνω στην **κοσμολογική αρχή.** Ο όρος αναφέρεται σε τρεις βασικές υποθέσεις που αφορούν το Σύμπαν:

α) Οι φυσικοί νόμοι έχουν παγκόσμια ισχύ.

β) Το Σύμπαν είναι ομοιογενές.

γ) Το Σύμπαν είναι ισότροπο.

Υπάρχει σημαντικό παρατηρησιακό υλικό που ενισχύει την αλήθεια της κοσμολογικής αρχής.

• Ο Hubble ανακάλυψε ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται μεταξύ τους με σχετικές ταχύτητες που είναι ανάλογες προς τις μεταξύ τους αποστάσεις. Ο νόμος του Hubble ερμηνεύεται, αν δεχτούμε ότι το **Σύμπαν διαστέλλεται ομοιόμορφα.**

• Με βάση τη διαστολή του Σύμπαντος και τους νόμους της Φυσικής προβλέφτηκε ότι στο Σύμπαν πρέπει να διαχέεται ομοιόμορφα μια ασθενής ακτινοβολία, που ονομάστηκε **ακτινοβολία υποβάθρου.** Το φάσμα της είναι ίδιο με το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπει μελανό σώμα θερμοκρασίας 2,7 K. Η ακτινοβολία υποβάθρου ανιχνεύτηκε πειραματικά το 1965 από τους Penzias και Wilson.

• Η διαστολή του Σύμπαντος και η ακτινοβολία υποβάθρου είναι παρατηρησιακά δεδομένα κοσμολογικής σημασίας. Η επαλήθευσή τους είναι απαραίτητη προϋπόθεση για κάθε αξιόπιστο θεωρητικό κοσμολογικό μοντέλο.

• Το μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης οικοδομείται με βάση τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας και τη Φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων. Η βασική του υπόθεση είναι ότι ο χώρος, ο χρόνος, η ύλη και η ακτινοβολία γεννήθηκαν ταυτόχρονα κάποια συγκεκριμένη στιγμή στο παρελθόν. Από τη στιγμή αυτή μέχρι σήμερα το Σύμπαν συνεχίζει να διαστέλλεται.

Η στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης αποτελεί ένα ιδιάζον σημείο που δεν μπορεί να περιγραφεί με τη γλώσσα της Φυσικής.

Η Ιστορία του Σύμπαντος μετά τη Μεγάλη Έκρηξη μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις φάσεις-περιόδους: α) την περίοδο των αδρονίων, β) την περίοδο των λεπτονίων, γ) την περίοδο του πλάσματος και δ) την περίοδο της ύλης.

• Το μέλλον του Σύμπαντος εξαρτάται από την τιμή της πυκνότητας της ύλης που περιέχει. Υπάρχουν δύο ενδεχόμενα: α) Η βαρύτητα που αντιστρατεύεται τη διαστολή να είναι αρκετά ασθενική, οπότε το Σύμπαν θα διαστέλλεται για πάντα. β) Η βαρύτητα να είναι αρκετά ισχυρή, ώστε να σταματήσει τη διαστολή, οπότε το Σύμπαν θα αρχίσει κάποτε να συστέλλεται.

Μέχρι σήμερα δεν είναι γνωστή ακριβώς η τιμή της πυκνότητας του Σύμπαντος, για να μπορούμε να αποφανθούμε με σιγουριά για το μέλλον του.

• Σύμφωνα με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν, η ύλη προκαλεί καμπύλωση του χωρόχρονου. Σ' έναν καμπυλωμένο χώρο το φως δεν κινείται ευθύγραμμα. Το είδος της καμπύλωσης του χώρου του Σύμπαντος εξαρτάται από την πυκνότητα της ύλης που περιέχει.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Γιατί είμαστε υποχρεωμένοι να δεχτούμε την καθολική και διαχρονική ισχύ των φυσικών νόμων; Που θα μας οδηγούσε η άρνηση αυτής της υπόθεσης;

2. Ποια παρατηρησιακά δεδομένα ενισχύουν την υπόθεση της ομοιογένειας του Σύμπαντος και ποια της ισοτροπίας;

3. Ένας παρατηρητής βρίσκεται στο γαλαξία της Ανδρομέδας. Κάνει μετρήσεις των ακτινικών ταχυτήτων και των αποστάσεων των γαλαξιών ως προς αυτόν. Σε τι συμπεράσματα θα καταλήξει;

4. Η ακτίνα (**R**) κύκλου με σταθερό κέντρο Ο μετάβάλλεται ανάλογα με το χρόνο, σύμφωνα με τη σχέση

$$\mathbf{R=\alpha t}$$

όπου **α** σταθερά. Να δείξετε ότι δύο σημεία του κύκλου απομακρύνονται μεταξύ τους με ρυθμό ανάλογο προς το μήκος του κυκλικού τόξου **s** που ορίζουν. Συγκεκριμένα, να αποδείξετε ότι ισχύει η σχέση:

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\alpha}{R} s$$

Σχολιάστε το αποτέλεσμα αυτό σε σχέση με το νόμο του Hubble και τη διαστολή του Σύμπαντος.

5. Πώς συμβιβάζεται ο νόμος του Hubble με την κοσμολογική αρχή;

6. Πώς οι Penzias και Wilson κατάλαβαν ότι η ακτι-

νοβολία υποβάθρου που ανακάλυψαν είχε κοσμολογική σημασία;

7. Πώς το μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης προβλέπει την ύπαρξη της ακτινοβολίας υποβάθρου;

8. Ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά της περιόδου του πλάσματος;

9. Ποιος είναι ο ρόλος της βαρύτητας στη μελλοντική εξέλιξη του Σύμπαντος; Γιατί δεν μπορούμε να αποφανθούμε με βεβαιότητα αν το Σύμπαν είναι κλειστό ή ανοιχτό;

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Στην επιφάνεια ενός σφαιρικού μπαλονιού σημειώστε με ένα στυλό τρία σημεία Α, Β και Γ τέτοια, ώστε η απόσταση ΑΒ να είναι μικρότερη από την ΑΓ. Φουσκώστε λίγο το μπαλόνι και με μια μετροταινία μετρήστε τις αποστάσεις ΑΒ, ΑΓ και ΒΓ. Επαναλάβατε το ίδιο άλλες δύο φορές φουσκώνοντας ανάλογα το μπαλόνι. Συμπληρώστε τον πίνακα μετρήσεων.

α) Καθώς το μπαλόνι φουσκώνει, κινούνται τα σημεία Α, Β και Γ ως προς την επιφάνειά του; Γιατί αυξάνονται οι μεταξύ τους αποστάσεις;

β) Υπολογίστε τη μέση τιμή του λόγου ΑΒ/ΑΓ και βρείτε μια σχέση μεταξύ των μέσων ταχυτήτων απομάκρυνσης των σημείων Β και Γ από το Α. Συσχετίστε τις ταχύτητες αυτές με τις αποστάσεις των αντίστοιχων σημείων από το Α. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα με το νόμο του Hubble.

γ) Κάνετε τα ίδια θεωρώντας σημεία αναφοράς το Β και το Γ αντίστοιχα.

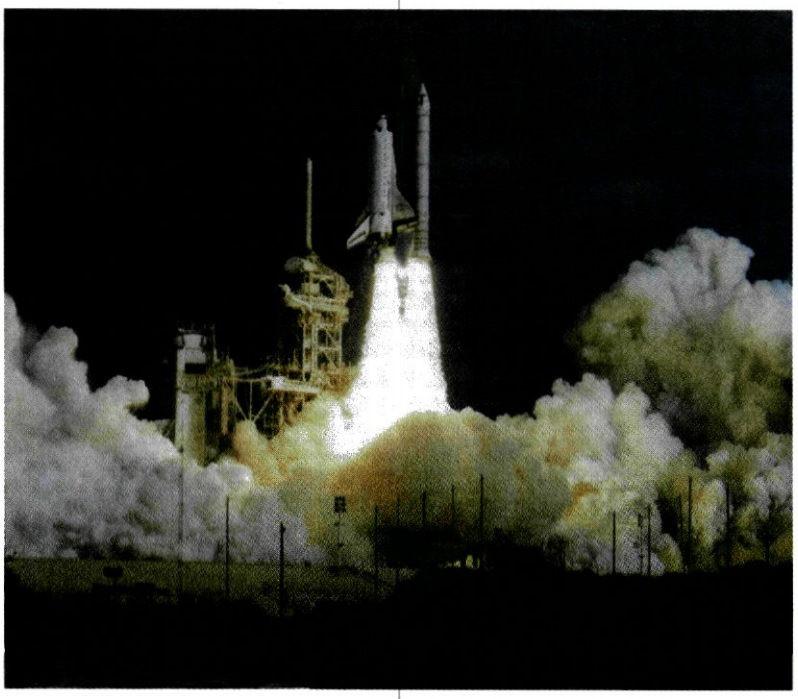
δ) Ποιος είναι ο δρόμος ελάχιστου μήκους που πρέπει να ακολουθήσει ένα μυρμήγκι που κινείται πάνω στην επιφάνεια του μπαλονιού, για να φτάσει από το Α στο Β; Είναι τμήμα ευθείας;

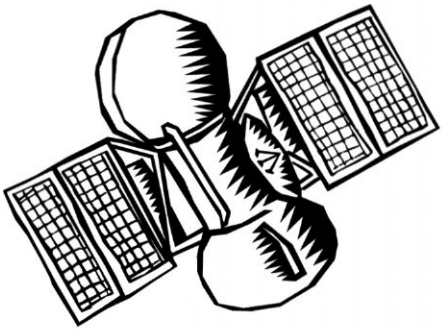
ε) Η βαρύτητα επιβραδύνει τη διαστολή του Σύμπαντος. Ποιο είναι το αντίστοιχο της βαρυτικής έλξης που αντιστρατεύται τη διαστολή του μπαλονιού;

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΑΒcm	ΑΓcm	ΒΓcm	ΑΒ/ΑΓ	ΒΑ/ΒΓ	ΓΑ/ΓΒ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ





ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ

«Και μια θάλασσα φερμένη από μακριά,

μυρίζοντας ακόμη αυγό του κύκνου»

Ο. Ελύτη, ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ ΕΝΟΣ ΑΘΕΑΤΟΥ ΑΠΡΙΛΙΟΥ

Στα μέσα του εικοστού αιώνα αρχίζει η εποχή της υψηλής τεχνολογίας και του διαστήματος.

Αυτή η εποχή άρχισε επίσημα με την τοποθέτηση του πρώτου τεχνητού δορυφόρου σε τροχιά γύρω από τη Γη, στις 4 Οκτωβρίου 1957. Ο πρώτος αυτός δορυφόρος εκτοξεύτηκε από τους Ρώσους και ονομάστηκε «Σπούτνικ». Από τότε έχουν τεθεί σε τροχιά χιλιάδες γνωστοί και άγνωστοι τεχνητοί δορυφόροι και διαστημόπλοια.

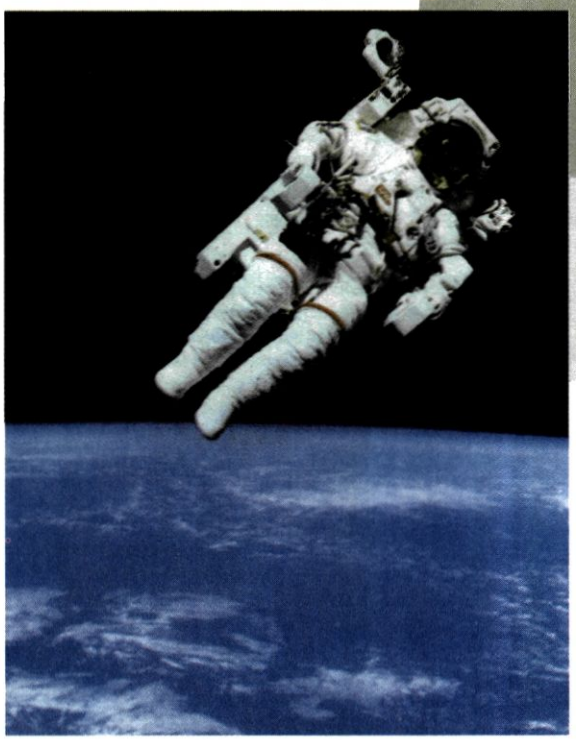
Όμως ποιοι λόγοι ανάγκασαν τους επιστήμονες να εμπλακούν στο εγχείρημα αυτό;

Σε τι θα ωφελήσει τον άνθρωπο η εξερεύνηση του διαστήματος;

Τι σημαίνει για το παρόν και το μέλλον του;

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε σε πολλά από τα διαστημικά προγράμματα, που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα ή σχεδιάζονται για το μέλλον, καθώς και στις προοπτικές που ανοίγονται απ' αυτά.

Εικόνα 8.1: Η εξερεύνηση του διαστήματος απασχολεί όχι μόνο τους επιστήμονες αλλά και κάθε σκεπτόμενο πολίτη.



Εικόνα 8.2: Ο κοσμοναύτης McCandless σε τροχιά γύρω από τη Γη, τον Φεβρουάριο του 1984.

8.1 ΓΕΝΙΚΑ

Για αιώνες οι αστρονόμοι παρατηρούσαν τα φαινόμενα του ουρανού από την επιφάνεια της Γης, δέσμιοι των περιορισμών που επιβάλλει η παρουσία της ατμόσφαιράς της. Η ανακάλυψη των τηλεσκοπίων, παρ' ότι διεύρυνε σημαντικά τους ορίζοντες της αστρονομικής παρατήρησης, μεγάλωσε παράλληλα την επιθυμία των ερευνητών να παρατηρήσουν τα αστρονομικά φαινόμενα από πιο κοντά .

Έτσι με το ζήλο και τη φαντασία των πρωτοπόρων εξερευνητών σχεδίασαν και κατασκεύασαν συσκευές, με σκοπό να ξεπεράσουν τα εμπόδια της ατμόσφαιρας και να παρατηρήσουν τον ουρανό, αλλά και τη Γη από ψηλά. Να κατακτήσουν, δηλαδή, το διάστημα πέρα από τη Γη. Πρωτοπόροι στην προσπάθεια αυτή υπήρξαν: Ο Ρώσος φυσικός Τσιολκόφσκι (Tsiolkovsky) (1857-1935) που με τις σημαντικές εργασίες του έβαλε τα θεμέλια της αστροναυτικής στην Ρωσία, ο Αμερικανός Γκοντάρ (Goddard) (1882-1945) που

εισήγαγε την ιδέα του δορυφόρου με υγρά καύσιμα, ο Γερμανός Όμπερτ (Oberth), (1894-1989) ο Γάλλος Πελτερί (Pelterie) (1881-1957) και βέβαια ο Γερμανός Βέρνερ φον Μπράουν (Wernher von Braun) (1912-1977) που με την κατασκευή των περίφημων πυραύλων V-2 άνοιξε το δρόμο για τους πρώτους τεχνητούς δορυφόρους.

Οι ερευνητικές αποστολές, που οργανώθηκαν από την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου μέχρι σήμερα, έφτασαν με τη βοήθεια των διαστημικών συσκευών μέχρι τους πλέον μακρινούς πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος. Μελετήθηκαν από κοντά τα διάφορα μέλη του ηλιακού συστήματος, ο ηλιακός άνεμος, η ηλιακή ατμόσφαιρα καθώς και οι επιδράσεις τους στον πλανήτη μας. Τέθηκαν σε τροχιά γύρω από τη Γη δορυφόροι και διαστημικά τηλεσκόπια που έδωσαν νέα ώθηση στη μελέτη και την επίλυση προβλημάτων της Αστρονομίας, της Μετεωρολογίας, των Επικοινωνιών και άλλων επιστημονικών κλάδων.

8.2 ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

ΤΑ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΑ ΜΠΑΛΟΝΙΑ

Η πρώτη αποστολή διαστημικού μπαλονιού έγινε το 1874 από το Αστεροσκοπείο της Meudon με στόχο την παρατήρηση ορισμένων φασματικών γραμμών της ηλιακής ακτινοβολίας. Ακολούθησαν πολλές άλλες παρόμοιες αποστολές και παράλληλα άρχισαν να κατασκευάζονται ειδικά όργανα παρατήρησης γι' αυτές, όπως φασματοσκόπια, τηλεχειριζόμενα από το έδαφος τηλεσκόπια κτλ. Σήμερα πολλές αστρονομικές παρατηρήσεις γίνονται με τον τρόπο αυτό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παρατήρηση της έκρηξης υπερκαινοφανούς αστέρα στο Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου το 1987.

Το πιο γνωστό κέντρο εκτόξευσης μπαλονιών βρίσκεται στο Τέξας. Από εκεί εκτοξεύονται μπαλόνια με στόχο τη διεξαγωγή αστρονομικών παρατηρήσεων, τη μελέτη των κοσμικών ακτίνων και μετεωρολογικών φαινομένων κ.ά.

Τα μπαλόνια φτάνουν σε ύψος περίπου 40 Km και το ταξίδι τους διαρκεί μερικές ημέρες. Το φορτίο τους μπορεί να ζυγίζει μέχρι 2 τόνους και συνήθως συλλέγεται με αλεξίπτωτο στο τέλος της αποστολής.

ΤΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ

Με τη βοήθεια αεροσκάφους ένα τηλεσκόπιο μαζί με την επιστημονική ομάδα μεταφέρεται σε μεγάλο ύψος, από το οποίο γίνονται παρατηρήσεις όσο διαρκεί η πτήση. Η τεχνική αυτή, ιδιαίτερα σημαντική για την Αστρονομία, ακολουθείται κυρίως για τη διεξαγωγή παρατηρήσεων στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος. Υπενθυμίζεται ότι σε μεγάλα ύψη το ποσοστό της απορροφουμένης από την ατμόσφαιρα ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη από τα ουράνια σώματα μειώνεται σημαντικά (βλέπε παρ. 2.4).

Η πρώτη αποστολή έγινε το 1957. Από τότε, με την ανάπτυξη των υπολογιστών και των συστημάτων σταθεροποίησης της πλοήγησης, το τηλεσκόπιο μαζί με την επιστημονική ομάδα μπορεί να μεταφερθεί για παρατήρηση σε ύψος μέχρι και 12 χιλιομέτρων. Η NASA με το αντίστοιχο τμήμα της σχεδιάζει, συντονίζει και πραγματοποιεί τέτοιες αποστολές. Η μεγαλύτερη μέχρι στιγμής είναι αυτή του Kuiper Airborn Observatory (KAO). Πρόκειται για ένα τηλεσκόπιο 91 cm τοποθετημένο και κατάλληλα προσαρμοσμένο σε ένα στρατιωτικό αεροσκάφος. Ένα άλλο σημαντικό πρόγραμμα, που πρόκειται να ολοκληρωθεί μέσα στο 1999, είναι το πρόγραμμα SOFIA. Στην αποστολή αυτή ένα τηλεσκόπιο 3m θα είναι τοποθετημένο σε ένα Boeing 747 Jumbo Jet και θα χρησιμοποιηθεί για έρευνα στα υπέρυθρα μήκη κύματος.

ΟΙ ΠΥΡΑΥΛΟΙ

Παρ' όλες τις επιτυχίες που υπήρξαν στις έρευνες με τη χρησιμοποίηση των αεροπλάνων, τα ύψη στα οποία πετούν δεν ήταν αρκετά για την πλήρη μελέτη των ακτινοβολιών που εκπέμπουν τα ουράνια αντικείμενα. Υπήρξε λοιπόν η ανάγκη κατασκευής ενός οχήματος που να είναι ικανό να κάνει πτήση σε ύψος πάνω των 40 Km. Η λύση ήταν ένας πύραυλος.

Έτσι, μετά το τέλος του 2ου Παγκόσμιου πολέμου, άρχισε να αναπτύσσεται αλματωδώς η τεχνολογία των πυραύλων. Οι πρώτοι πύραυλοι που εκτοξεύτηκαν μπορούσαν να πετάξουν σε ύψος 160 Km, μεταφέρο-

ντας θάλαμο βάρους 1.000 Kg και έχοντας τη δυνατότητα διεξαγωγής παρατηρήσεων για 5 λεπτά πάνω από τη ζώνη του όζοντος, που, ως γνωστόν, απορροφά τις υπεριώδεις ακτινοβολίες. Μετά από πολλές προσπάθειες Αμερικανών, Ρώσων, Ευρωπαίων, Καναδών, Ιαπώνων κ.ά. έχουν αναπτυχθεί στις μέρες μας πύραυλοι υψηλών επιδόσεων, με τους οποίους μπορούν να γίνουν παρατηρήσεις από πολύ μεγάλα ύψη.

ΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ

Η ιδέα των αστρονομικών παρατηρήσεων από δορυφόρους είναι πολύ παλιά. Το 1923 ο Γερμανός πρωτοπόρος των πυραύλων Χέρμαν Όμπερτ (Herman Oberth) έγραψε για τα πλεονεκτήματα ενός διαστημικού τηλεσκοπίου σε σχέση με τα επίγεια. Τεχνολογικά όμως προβλήματα καθυστέρησαν την πρώτη εκτόξευση δορυφόρου με προσαρτημένο τηλεσκόπιο.

Ποια είναι όμως τα πλεονεκτήματα της αστρονομικής παρατήρησης που γίνεται από το διάστημα; Έχουμε ήδη γνωρίσει ότι ξεπερνώνται οι ατμοσφαιρικές παρεμβολές. Επιπλέον, σε σχέση με τις αποστολές που αναφέρθηκαν προηγουμένως, οι παρατηρήσεις με δορυφόρους διαρκούν χρόνια.

Όμως οι διαστημικές αποστολές έχουν και μειονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι το υπερβολικό τους κόστος. Η αντιμετώπισή του έχει συνέπεια οι αποστολές αυτές να είναι εφικτές μόνο με τη συνεργασία πολλών ερευνητικών κέντρων, κάτι που συνεπάγεται μακροχρόνιες και περίπλοκες διαπραγματεύσεις. Στις διαπραγματεύσεις αυτές πολλές φορές υπεισέρχονται και παράγοντες άσχετοι με τους επιστημονικούς στόχους της αποστολής, οι οποίοι συνδέονται με πολιτικά και οικονομικά θέματα. Για παράδειγμα, το πρόγραμμα HEAO (1973), που στόχο είχε τη μελέτη ουράνιων αντικειμένων στις υψηλές ενέργειες, είχε παγώσει για 18 μήνες, εξαιτίας της άρνησης της χρηματοδότησής του από το Αμερικάνικο Κογκρέσο. Τελικά πραγματοποιήθηκε, αφού μειώθηκαν οι δαπάνες και μαζί με αυτές οι προσδοκίες του προγράμματος.

Ο σχεδιασμός των ερευνητικών προγραμμάτων

Ο σχεδιασμός των διαστημικών προγραμμάτων γίνεται σε τρεις φάσεις:

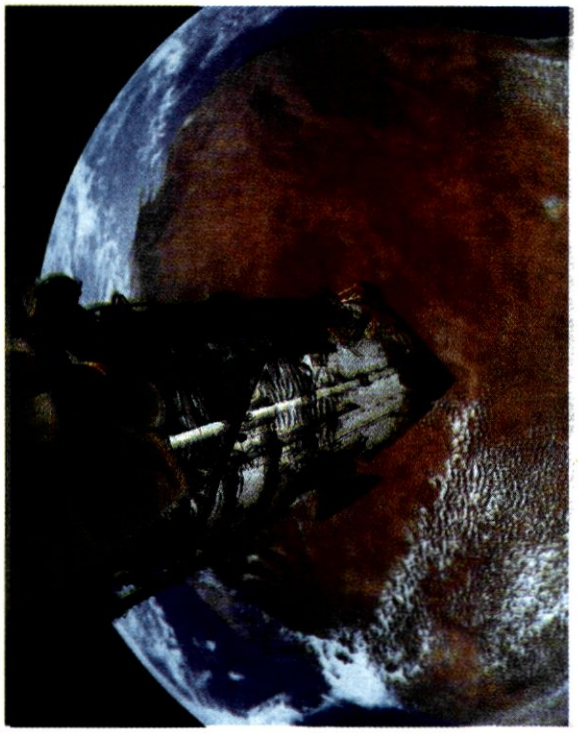
- Στην πρώτη φάση συγκεντρώνονται από τους διαστημικούς οργανισμούς ιδέες και μελέτες για αξιολόγηση. Οι οργανισμοί αυτοί στην Ευρώπη είναι η ESA και στην Αμερική η NASA. Η φάση αυτή διαρκεί τουλάχιστον 3 χρόνια.
- Στη δεύτερη φάση γίνεται ο σχεδιασμός και η κατασκευή του διαστημοπλοίου και των οργάνων με τα οποία θα εφοδιαστεί. Η φάση αυτή διαρκεί τουλάχιστον 7 χρόνια.
- Στην τρίτη φάση πραγματοποιείται η απογείωση του διαστημοπλοίου και η τοποθέτησή του σε τροχιά γύρω από τη Γη. Πρόκειται ίσως για την πιο κρίσιμη φάση, αφού οι επιστήμονες δεν έχουν πια τον άμεσο έλεγχό του.

Οι πληροφορίες που συλλέγονται από το διαστημόπλοιο κατά την κίνησή του στέλνονται στη Γη όπου γίνεται η επεξεργασία τους.

8.3 ΟΙ ΤΡΟΧΙΕΣ ΤΩΝ ΠΥΡΑΥΛΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ

Ο σχεδιασμός ενός πυραύλου ή δορυφόρου συσχετίζεται και με την πρόβλεψη της πορείας που θα ακολουθήσει. Η επιλογή της τροχιάς του προσδιορίζει και το συνολικό κόστος του προγράμματος. Η απόφαση και ο σχεδιασμός της καθορίζεται από τους εξής παράγοντες

- Τη διασφάλιση καλής επικοινωνίας του δορυφόρου με το κέντρο ελέγχου της Γης, ώστε να είναι δυνατή η αποστολή οδηγιών από τη Γη προς το δορυφόρο, και αντιστρόφως.



Εικόνα 8.3: Το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble σε τροχιά γύρω από τη Γη.

Η κίνηση ενός διαστημοπλοίου μέσα στο πλανητικό μας σύστημα μπορεί να διακριθεί σε τρεις φάσεις:

- Τη φάση της εκτόξευσης, που ολοκληρώνεται με την έξοδο του διαστημοπλοίου από το γήινο βαρυτικό πεδίο.
- Τη φάση του κυρίως ταξιδιού, που διαρκεί μέχρι τη στιγμή που το διαστημόπλοιο θα φτάσει στα όρια του πεδίου βαρύτητας του πλανήτη-στόχου.
- Τη φάση της προσεδάφισης, που τελειώνει μόλις το διαστημικό όχημα προσεδαφιστεί ομαλά στην επιφάνεια του πλανήτη.

Κατά τη διάρκεια της πρώτης και τρίτης φάσης το διαστημόπλοιο καταναλώνει πολύ μεγάλο μέρος της ενέργειάς του, για να υπερνικήσει τα πεδία βαρύτητας της Γης και του πλανήτη- στόχου. Κάτι τέτοιο δε συμβαίνει κατά τη δεύτερη φάση, κατά την οποία το διαστημόπλοιο κινείται στην προδιαγεγραμμένη τροχιά του. Η ελάχιστη ενέργεια που δαπανά στη φάση αυτή χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για διορθωτικές μεταβολές στην πορεία του.

- Την εξασφάλιση προστασίας του δορυφόρου από την ακτινοβολία υποβάθρου, ώστε να λειτουργούν απρόσκοπτα τα όργανά του και να πραγματοποιούνται αξιόπιστες αστρονομικές παρατηρήσεις.
- Το πεδίο παρατήρησης του ουρανού να ταιριάζει με τους στόχους της αποστολής.
- Την πρόβλεψη του χρόνου ζωής της αποστολής.

Οι τρεις πιο απλές τροχιές που μπορούν να δοθούν στους πυραύλους και τα διαστημόπλοια είναι η δορυφορική τροχιά γύρω από τη Γη, η πλανητική τροχιά γύρω από τον Ήλιο και η τροχιά που τα οδηγεί έξω από το πλανητικό μας σύστημα.

Η ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΡΟΧΙΑ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ

Η τροχιά του δορυφόρου υπολογίζεται με την εφαρμογή των νόμων της Νευτώνειας Μηχανικής. Η μορφή της προσδιορίζεται μονοσήμαντα από το ύψος, το μέτρο και την κατεύθυνση της ταχύτητας που έχει ο δορυφόρος τη στιγμή που μπαίνει σε τροχιά.

Η ελάχιστη οριζόντια ταχύτητα που πρέπει να αποκτήσει ένα σώμα σε ορισμένο ύψος, για να μπει σε κυκλική τροχιά γύρω από τη Γη, ονομάζεται «πρώτη κοσμική ταχύτητα». Η ελάχιστη τιμή του μέτρου της ταχύτητας με την οποία πρέπει να εκτοξευτεί από ορισμένο ύψος ένα σώμα, ώστε να μπορέσει να κινηθεί σε άπειρη απόσταση από τη Γη, ονομάζεται «ταχύτητα διαφυγής». Όταν η εκτόξευση πραγματοποιείται από το έδαφος, η ταχύτητα αυτή καλείται «δεύτερη κοσμική ταχύτητα». Θεωρώντας ότι η κίνηση του σώματος γίνεται στο κενό, η τιμή της δεύτερης κοσμικής ταχύτητας είναι 11,2 Km/s.

Η ΠΛΑΝΗΤΙΚΗ ΤΡΟΧΙΑ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΗΛΙΟ

Για να υπερνικηθεί η γήινη βαρύτητα, θα πρέπει ο δορυφόρος να εκτοξευτεί με τη δεύτερη κοσμική ταχύτητα, οπότε θα κινείται με την επίδραση της έλξης του Ηλίου. Θα γίνει έτσι ένας «τεχνητός πλανήτης» που θα περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο.

Η ΤΡΟΧΙΑ ΠΟΥ ΟΔΗΓΕΙ ΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΟΠΛΟΙΟ ΕΞΩ ΑΠΟ ΤΟ ΠΛΑΝΗΤΙΚΟ ΜΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑ

Προϋπόθεση για την πραγματοποίηση ταξιδιού έξω από το πλανητικό σύστημα είναι να προσδώσουμε στο σώμα μια ελάχιστη ταχύτητα εκτόξευσης, που ονομάζουμε «τρίτη κοσμική ταχύτητα». Το μέτρο της ταχύτητας αυτής, όταν η εκτόξευση γίνεται κατά τη κατεύθυνση της περιφοράς της Γης γύρω από τον Ήλιο, είναι ίσο με 42,2 Km/s.

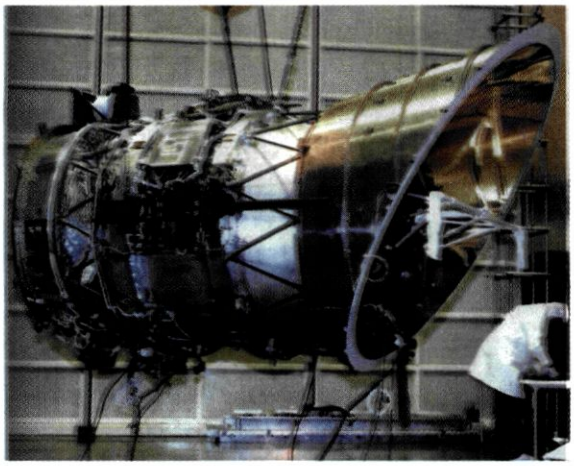
Ωστόσο, η χάραξη της τροχιάς ενός διαστημοπλοίου δεν είναι απλή υπόθεση. Η κίνησή του επηρεάζεται και από τις δυνάμεις που ασκούν πάνω του και τα άλλα, εκτός από τον Ήλιο, μέλη του ηλιακού μας συστήματος καθώς και από άλλους παράγοντες, που δεν είναι πάντοτε εύκολο να προβλεφτούν.

8.4 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΔΙΑΣΤΗΜΟΠΛΟΙΑ

ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ

Έχουν εκτοξευτεί και εξακολουθούν να εκτοξεύονται δορυφόροι σε τροχιά γύρω από τη Γη, οι οποίοι επιτελούν συγκεκριμένες αποστολές. Ανάλογα με τη λειτουργία τους και το σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκαν, διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

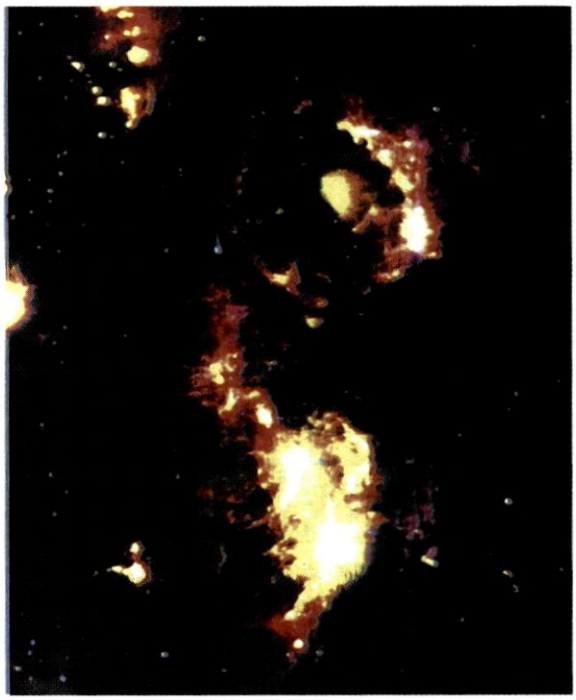
- **Μετεωρολογικοί δορυφόροι.** Καταγράφουν τις κινήσεις της ατμόσφαιρας της Γης και τροφοδοτούν με στοιχεία τους επίγειους μετεωρολογικούς σταθμούς. Σήμερα έχει σχηματιστεί ένα δίκτυο μετεω-



Εικόνα 8.4: Ο δορυφόρος IRAS που κατασκευάστηκε για διεξαγωγή παρατηρήσεων στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος της Η/Μ ακτινοβολίας. Η εικόνα τον παρουσιάζει στο εργαστήριο, πριν ακόμα εκτοξευτεί.

ρολογικών δορυφόρων που περιβάλλει τη Γη και από την επεξεργασία των στοιχείων που αποστέλλουν γίνεται δυνατή η καλύτερη πρόβλεψη του καιρού.

- **Δορυφόροι γεωφυσικών μελετών και ανίχνευσης πλουτοπαραγωγικών πηγών.** Είναι εφοδιασμένοι με ειδικά συστήματα που τους επιτρέπουν να κάνουν γεωφυσικές παρατηρήσεις και να ανιχνεύουν την ύπαρξη πλουτοπαραγωγικών πηγών στο στερεό φλοιό της Γης.



Εικόνα 8.5: Εικόνα νεφών, από τα οποία θα σχηματιστούν αστέρες στον αστερισμό του Ωρίωνα. Τα χρώματα που παρατηρούνται απεικονίζουν διάφορα μήκη κύματος της υπέρυθρης περιοχής του φάσματος, σύμφωνα με τις παρατηρήσεις που έγιναν από το δορυφόρο IRAS.

- **Τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι** Διευκολύνουν την επικοινωνία μεταξύ των κατοίκων της Γης που βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους. Υπάρχει πυκνότατο δίκτυο τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων, μέσω του οποίου σήμερα είναι δυνατή η αποστολή και λήψη ηχητικής και οπτικής πληροφορίας από και προς οποιοδήποτε σημείο της Γης.
- **Δορυφόροι αστρονομικών παρατηρήσεων** Είναι δορυφόροι εφοδιασμένοι με αστρονομικά όργανα για την εκτέλεση αστρονομικών παρατηρήσεων έξω από την ατμόσφαιρα της Γης. Στις παρατηρήσεις που γίνονται από τους δορυφόρους αποφεύγονται οι παρεμβολές και οι περιορισμοί που προκαλούνται από τη γήινη ατμόσφαιρα. Αυτές γίνονται σε όλες τις περιοχές του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και είναι πολύ καλύτερης ποιότητας από τις αντίστοιχες επίγειες.

Αν παραβλέψουμε την αλληλεπίδραση του σώματος με άλλα ουράνια αντικείμενα και θεωρήσουμε ότι πάνω του ασκείται μόνον η έλξη του Ηλίου, η τροχιά του θα έχει τη μορφή μιας κωνικής τομής. Αν η αρχική του ταχύτητα είναι μικρότερη από την ταχύτητα διαφυγής από το βαρυτικό πεδίο του Ηλίου, στο σημείο που έγινε η εκτόξευση η τροχιά θα είναι ελλειπτική. Η μια εστία της έλλειψης ταυτίζεται με το κέντρο του Ηλίου. Αν η αρχική ταχύτητα είναι ίση με την ταχύτητα διαφυγής, τότε το σώμα θα ακολουθήσει παραβολική τροχιά και, αν είναι μεγαλύτερη, υπερβολική.

- **Στρατιωτικοί δορυφόροι.** Εξυπηρετούν στρατιωτικούς σκοπούς. Οι λειτουργίες τους και οι τροχιές που ακολουθούν είναι διαβαθμισμένες (όπως όλες οι στρατιωτικές πληροφορίες).

ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΕΣ ΑΠΟΣΤΟΛΕΣ

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι επανδρωμένες διαστημικές αποστολές, οι οποίες σηματοδότησαν τη δυνατότητα του ανθρώπου να ταξιδέψει στο διάστημα και σε άλλα ουράνια σώματα.

Τον Απρίλιο του 1961 τέθηκε για πρώτη φορά από τους Σοβιετικούς επανδρωμένο διαστημόπλοιο σε τροχιά γύρω από τη Γη. Ήταν το Βοστόκ 1, με κοσμοναύτη τον Ρώσο Γιούρι Γκαγκάριν, που πραγματοποίησε μία πλήρη περιφορά γύρω από τη Γη μέσα σε μια ώρα και 29 λεπτά. Η μέγιστη ταχύτητά του ήταν 28.968 Km/h.

Εικόνα 8.6: Η εκτόξευση του διαστημοπλοίου Απόλλων 15 προς τη Σελήνη.

Εικόνα 8.7: Εκτόξευση διαστημικού λεωφορείου από το κέντρο εκτόξευσης Κανάβεραλ στο Χιούστον του Τέξας.

Από τότε άρχισε μία σειρά επανδρωμένων αποστολών από Σοβιετικούς και Αμερικανούς. Το Μάρτιο του 1965 οι Αμερικανοί εγκαινίασαν μια νέα εποχή με το πρόγραμμα Τζέμινι. Κατά τη διάρκεια των πτήσεων του προγράμματος αυτού έγιναν «περίπατοι» στο κενό και πραγματοποιήθηκαν συνδέσεις δορυφόρων με διαστημόπλοιο σε τροχιά. Από τα πειράματα αυτά αποκτήθηκαν οι πρώτες εμπειρίες για τη συναρμολόγηση εξεδρών και διαστημικών σταθμών που θα περιφέρονταν σε τροχιά γύρω από τη Γη.

Στις 16 Ιουλίου του 1969 η σεληνάκατος Αετός στο πλαίσιο του προγράμματος Απόλλων μετέφερε τους κοσμοναύτες Άρμστρονγκ και Ώλντριν στην επιφάνεια της Σελήνης. Ο Άρμστρονγκ είναι ο πρώτος άνθρωπος που περπάτησε σε ένα άλλο ουράνιο σώμα.

Η επόμενη αποστολή των Αμερικανών στη Σελήνη, με απώτερο στόχο την εγκατάσταση μόνιμης επανδρωμένης βάσης στο έδαφός της, πραγματοποιήθηκε πολύ μετά το τέλος του προγράμματος Απόλλων. Το 1994 εκτοξεύτηκε και τέθηκε σε τροχιά γύρω από αυτή το διαστημόπλοιο Κλημεντίνη, με το οποίο πραγματοποιήθηκε συστηματική εξερεύνηση της επιφάνειάς της. Μια σημαντική ανακάλυψη που έγινε είναι η ύπαρξη νερού στο νότιο πόλο της Σελήνης. Η ύπαρξη νερού επιβεβαιώθηκε και από το διαστημόπλοιο Lunar Prospector, που εκτοξεύτηκε τον Ιανουάριο του 1998. Η αποστολή αυτή θα διαρκέσει σχεδόν ένα χρόνο. Ο βασικός στόχος της είναι η λεπτομερής χαρτογράφηση των επιφανειακών στρωμάτων της Σελήνης για τον εντοπισμό και την καταγραφή υλικών, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες από τους μελλοντικούς εποίκους του φυσικού δορυφόρου της Γης.

Ίσως ένας από τους σημαντικότερους σταθμούς στις αποστολές επανδρωμένων διαστημοπλοίων αποτελεί η κατασκευή από τη NASA των διαστημικών λεωφορείων. Τα βασικά τους πλεονεκτήματα είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές, προσγειώνονται σαν αεροσκάφη σε συνηθισμένο αεροδρόμιο και είναι ικανά να μεταφέρουν μεγάλο φορτίο.

Εξάλλου, στα πλαίσια της εξερεύνησης των πλησιέστερων στη Γη πλανητών του ηλιακού μας συστήματος, η NASA σχεδιάζει να πραγματοποιήσει το έτος 2008 την πρώτη επανδρωμένη αποστολή στον Άρη.

Ο διαστημικός σταθμός Μιρ

Τον Φεβρουάριο του 1986 οι Σοβιετικοί αξιοποιώντας την εμπειρία του προγράμματος Σαλιούτ εκτόξευσαν από το διαστημικό κέντρο Μπαϊκονούρ στο Καζακστάν το διαστημικό σταθμό Μιρ. Από τότε μέχρι σήμερα ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε τροχιά γύρω από τη Γη σε ύψος 240 μιλίων. Ο Μιρ έχει μήκος 13,2 m, πλάτος 4,2 m, και βάρος 21 τόνους. Μπορεί να δεχτεί για μόνιμη εγκατάσταση δύο έως τέσσερις κοσμοναύτες και να φιλοξενήσει μέχρι έξι άτομα.

Η εμπειρία που αποκτήθηκε από τη μακρόχρονη λειτουργία του Μιρ είναι εξαιρετικά πολύτιμη και αποτελεί σημαντική παρακαταθήκη για την εγκατάσταση και λειτουργία των σταθμών της νέας γενιάς.

Ο Άλφα θα είναι ο επόμενος μεγάλος διαστημικός σταθμός που σχεδιάζεται να συναρμολογηθεί στο διάστημα μέχρι το έτος 2003. Στο πρόγραμμα αυτό συνεργάζονται οι Η.Π.Α., η Ρωσία, ο Καναδάς, η Ευρώπη και η Ιαπωνία. Ήδη τα πρώτα τμήματα του σταθμού αυτού έχουν σταλεί στο διάστημα και έχει αρχίσει η συναρμολόγησή του.

ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Τα πρώτα διαστημικά προγράμματα είχαν στόχο την εξερεύνηση της Σελήνης και στη συνέχεια άλλων σωμάτων του ηλιακού μας συστήματος. Ωστόσο, η εξέλιξη της γνώσης μας γύρω από τη δομή και τα φαινόμενα του ηλιακού μας συστήματος σε συνδυασμό με την εξέλιξη της τεχνολογίας, έθεσε ως νέο στόχο τη δημιουργία επανδρωμένων διαστημικών σταθμών. Οι σταθμοί αυτοί είναι μεγάλοι τεχνητοί δορυφόροι της Γης σχεδιασμένοι έτσι, ώστε να χρησιμεύουν ως ενδιάμεσες βάσεις για μακρινές αποστολές στο ηλιακό σύστημα, αλλά και για την εγκατάσταση επιστημονικών οργάνων, όπως τηλεσκοπίων κτλ. Ένας βασικός στόχος της κατασκευής των διαστημικών σταθμών είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους των προγραμμάτων της εξερεύνησης του διαστήματος. Η λειτουργία τους, εκτός των άλλων, θα βοηθήσει σημαντικά και στην ανάπτυξη μιας σειράς τεχνολογικών εφαρμογών, κυρίως στον τομέα της κατασκευής υλικών ειδικών προδιαγραφών, που υπαγορεύονται από τις συνθήκες που επικρατούν στο διάστημα (έλλειψη βαρύτητας, ισχυρές ακτινοβολίες, βομβαρδισμός από σωματίδια, κ.ά.). Οι διαστημικοί σταθμοί θα χρησιμοποιηθούν επίσης στην υποστήριξη εξελιγμένων δορυφορικών συστημάτων τηλεπικοινωνίας και τηλεπισκόπησης.

Ένας διαστημικός σταθμός, για να ανταποκρίνεται στους σκοπούς που προαναφέραμε, θα πρέπει να αποτελείται από τις έξι επόμενες βασικές μονάδες:

1. Τη μονάδα υποστήριξης της ζωής μέσα στο σταθμό.
2. Τη μονάδα χώρων κατοικίας των κοσμοναυτών.
3. Τη μονάδα αποθήκευσης ζωτικών προϊόντων, όπως νερού και τροφίμων.
4. Τη μονάδα επιστημονικών εργαστηρίων.
5. Τη μονάδα ελλιμενισμού των διαστημικών οχημάτων.
6. Τη μονάδα προσαρτημένων εξεδρών όπου θα έχουν εγκατασταθεί διάφορα επιστημονικά όργανα.

Πρόδρομοι των διαστημικών σταθμών θεωρούνται το αμερικανικό Skylab, οι σοβιετικοί επανδρωμένοι σταθμοί Σαλιούτ και Μιρ και το ευρωπαϊκό διαστημικό εργαστήριο Spacelab.

Κατά τη διάρκεια της αποστολής του Skylab, και παρ' όλα τα προβλήματα που αντιμετώπισε, συλλέχτηκαν πολύτιμες πληροφορίες για τη Γεωργία, την Ωκεανογραφία, τη Μετεωρολογία, την Αστροφυσική και έγιναν πειράματα Βιολογίας και διαστημικής Ιατρικής. Η ηλιακή δραστηριότητα των ετών 1978-79 είχε αποτέλεσμα να αυξηθούν οι τριβές του Skylab με τη γήινη ατμόσφαιρα και έτσι να χάνει ύψος. Μπήκε σε πυκνότερα στρώματα της ατμόσφαιρας και καταστράφηκε τον Ιούλιο του 1979 έχοντας συμπληρώσει 34.981 περιστροφές γύρω από τη Γη.

Η τεχνογνωσία που αναπτύσσεται προς αυτήν την κατεύθυνση είναι τεράστια και πολύτιμη. Παράλληλα όμως αναπτύσσονται μέθοδοι ιατρικής πρόβλεψης και αντιμετώπισης βιολογικών ή ψυχικών προβλημάτων, που πιθανόν να προκληθούν από τη μακροχρόνια παραμονή του ανθρώπου στο διάστημα.

8.5 ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΕΣ ΑΠΟΙΚΙΕΣ ΚΑΙ

ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΕΣ ΑΠΟΙΚΙΕΣ

Η κατασκευή διαστημικών τροχιακών σταθμών δεν είναι ο μοναδικός στόχος στην πορεία κατάκτησης του διαστήματος. Ο επόμενος στόχος είναι η εγκατάσταση μιας βάσης στο έδαφος της Σελήνης, μέχρι τα μέσα του επόμενου αιώνα, που θα μπορεί να φιλοξενήσει περίπου 1.000 άτομα. Το βασικό κίνητρο για τη δημιουργία της είναι η εκμετάλλευση του ορυκτού πλούτου της Σελήνης. Οι πρώτες ύλες που θα εξορύσσονται από

το υπέδαφος της Σελήνης ενδέχεται να δώσουν κάποια λύση στο πρόβλημα της εξάντλησης ορισμένων ορυκτών πόρων της Γης. Επιπλέον, πιστεύεται ότι θα ελαχιστοποιήσουν το κόστος κατασκευής και συντήρησης των διαστημικών σταθμών και αποικιών της Σελήνης.

Παράλληλα με αυτήν την ιδέα έχει αρχίσει ο σχεδιασμός παρόμοιων βάσεων στον Άρη, σαν δεύτερο βήμα εποικισμού. Αυτός είναι άλλωστε και ο σκοπός των αποστολών που άρχισαν το 1997 με τη ρομποτική συσκευή Pathfinder Mars και το δορυφόρο Global Surveyor, και θα κορυφωθούν ίσως το 2008 με την πρώτη επανδρωμένη πτήση στον Άρη.

Ο απώτερος στόχος όλων αυτών είναι η κατασκευή διαστημικών αποικιών, στις οποίες θα μπορούν να ζήσουν από μερικές εκατοντάδες έως μερικά εκατομμύρια άνθρωποι. Ποια όμως θα είναι η δομή αυτών των γιγαντιαίων σταθμών;

Τα πρώτα σχέδια ενός τόσο φιλόδοξου εγχειρήματος έκανε ο Βέρνερ φον Μπράουν ήδη από τη δεκαετία του 1950. Σύμφωνα με τους σχεδιαστές διαστημικών αποικιών της NASA, αυτές θα αποτελούνται από σύστημα ανεξάρτητων περιστρεφόμενων κυλίνδρων ή δακτυλίων. Οι κατοικήσιμες περιοχές θα είναι φτιαγμένες από γυαλί και μέταλλο, ενώ θα υπάρχουν και μεγάλες εκτάσεις καλλιεργούμενου γήινου εδάφους. Οι κλιματολογικές συνθήκες θα ρυθμίζονται από τους αποίκους, ενώ οι περιοχές υψηλής ή χαμηλής βαρύτητας της αποικίας θα χρησιμοποιούνται κατάλληλα στη βιομηχανική παραγωγή.

Το κόστος κατασκευής μιας τέτοιας αποικίας 10.000 ατόμων ανέρχεται στα 100 τρισεκατομμύρια δραχμές σε τιμές του 1990 και για την αποπεράτωσή της χρειάζονται 10 χρόνια περίπου. Το κόστος αυτό υπολογίζεται ότι θα έχει αποσβεστεί στα δύο πρώτα χρόνια της λειτουργίας της! Πρέπει ακόμα να τονιστεί ότι όλη η τεχνολογία που απαιτείται για την κατασκευή μιας διαστημικής αποικίας είναι σήμερα γνωστή.

Τα σημεία στα οποία πρέπει να τοποθετηθούν οι διαστημικές αποικίες έχουν βρεθεί ήδη το 17ο αιώνα από το Γάλλο μαθηματικό Lagrange. Πρόκειται για τα σημεία ισορροπίας Lagrange, δηλαδή εκείνα τα σημεία ενός συστήματος σωμάτων (π.χ. Ήλιος-Γη), στα οποία μηδενίζεται η συνισταμένη των ελκτικών δυνάμεων και της φυγόκεντρης δύναμης. Κάθε σώμα που τοποθετείται στα σημεία αυτά βρίσκεται σε ισορροπία.

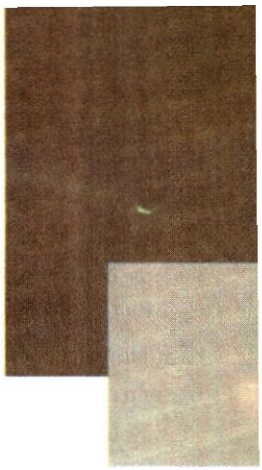
ΓΕΩΠΛΑΣΙΑ

Εκτός από τη δημιουργία διαστημικών αποικιών, ένα παρεμφερές θέμα που απασχολεί ιδιαίτερα τους επιστήμονες είναι η δυνατότητα τεχνητής αλλαγής των φυσικών συνθηκών των πλανητών, ώστε να γίνουν παρόμοιοι με τη Γη κι έτσι να κατοικηθούν από ανθρώπους. Το σύνολο των διαδικασιών που απαιτούνται για την πραγματοποίηση του στόχου αυτού ονομάζεται γεωπλασία.

Το πρώτο σενάριο γεωπλασίας διατυπώθηκε το 1961 από τον αστρονόμο-βιολόγο Carl Sagan για την Αφροδίτη. Στηρίχτηκε όμως σε ανακριβή στοιχεία που υπήρχαν τότε για τον πλανήτη αυτό. Η ιδέα της γεωπλασίας για την Αφροδίτη έχει πια εγκαταλειφτεί. Σχεδιάζεται όμως και έχει δρομολογηθεί ήδη από το 1997 από τη NASA για τον Άρη. Η υλοποίηση της γεωπλασίας στον Άρη προβλέπεται να εξελιχτεί σε 6 φάσεις, που θα ολοκληρωθούν μέσα σε 161 γήινα χρόνια με αφετηρία το έτος 2009.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Οι διαστημικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή των αστρονομικών παρατηρήσεων είναι τα μπαλόνια, τα αεροπλάνα, οι πύραυλοι και οι δορυφόροι. Στα οχήματα αυτά τοποθετούνται τηλεσκόπια και άλλα μετρητικά όργανα, με κύριο στόχο τη μελέτη των ακτινοβολιών που εκπέμπουν τα ουράνια αντικείμενα.
- Η τροχιά ενός δορυφόρου προσδιορίζεται μονοσήμαντα από το σημείο στο οποίο γίνεται η εκτόξευση του δορυφόρου και από την αρχική του ταχύτητα. Η κίνηση ενός δορυφόρου ή διαστημοπλοίου επηρεάζεται από τις βαρυτικές έλξεις που ασκούν πάνω του όλα τα μέλη του ηλιακού συστήματος καθώς και από άλλες αιτίες που δεν είναι εύκολο να προβλεφτούν. Οι παράγοντες αυτοί καθιστούν τη χάραξη της τροχιάς του μια πολύ δύσκολη υπόθεση.
- Οι δορυφόροι διακρίνονται σε διάφορα είδη, ανάλογα με τους στόχους που εξυπηρετεί η αποστολή τους.
- Οι επανδρωμένες αποστολές στο διάστημα άρχισαν από τη δεκαετία του 1960. Οι σημαντικότερες,



μέχρι σήμερα, στιγμές της προσπάθειας του ανθρώπου να ταξιδέψει στο διάστημα είναι: α) Η τοποθέτηση του πρώτου επανδρωμένου διαστημοπλοίου σε τροχιά γύρω από τη Γη. β) Η προσεδάφιση κοσμοναυτών στη Σελήνη. γ) Η τοποθέτηση διαστημικών σταθμών και εργαστηρίων σε τροχιά γύρω από τη Γη. δ) Οι πτήσεις των διαστημικών λεωφορείων.

• Στα μελλοντικά σχέδια των επιστημόνων περιλαμβάνεται η εγκατάσταση διαστημικών αποικιών σε τροχιά και η τεχνητή αλλαγή των φυσικών συνθηκών σε πλανήτες, ώστε να μπορούν να κατοικηθούν από ανθρώπους.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1) Γιατί οι επιστήμονες επιδιώκουν να κάνουν αστρονομικές παρατηρήσεις από θέσεις που απέχουν όσο το δυνατόν περισσότερο από το έδαφος; Με ποια μέσα πετυχαίνουν αυτήν τους την επιδίωξη;

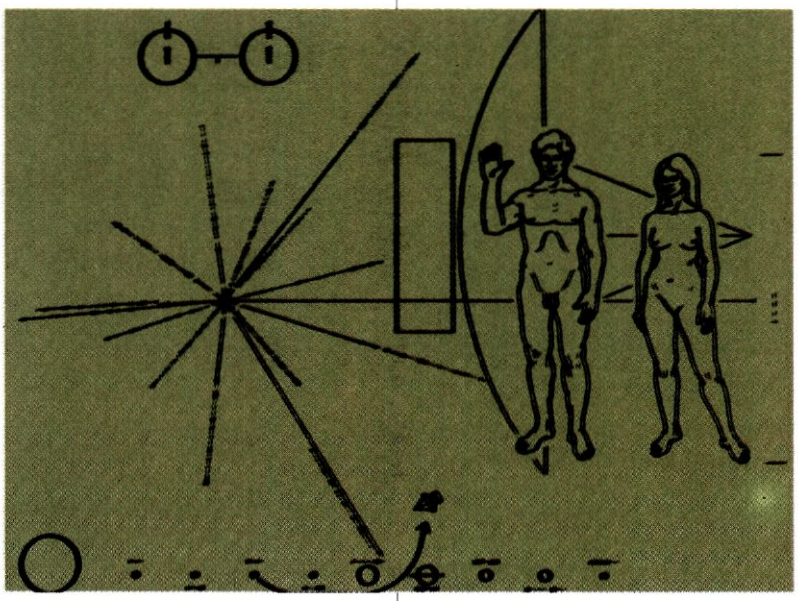
2) Με ποιους τρόπους οι δορυφόροι έχουν βοηθήσει στην ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου της ζωής του ανθρώπου πάνω στη Γη;

3) Για ποιο λόγο τοποθετούνται σε τροχιά διαστημικοί σταθμοί και εργαστήρια, παρά το μεγάλο κόστος ενός τέτοιου εγχειρήματος;

4) Τι είναι οι διαστημικές αποικίες; Ποια είναι τα βασικά στοιχεία του σχεδιασμού τους;

5) Τι εννοούμε με τον όρο «γεωπλασία»; Σε ποιον πλανήτη θεωρείται ότι είναι δυνατή η υλοποίηση ενός σχεδίου γεωπλασίας με βάση τη σημερινή τεχνολογία;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

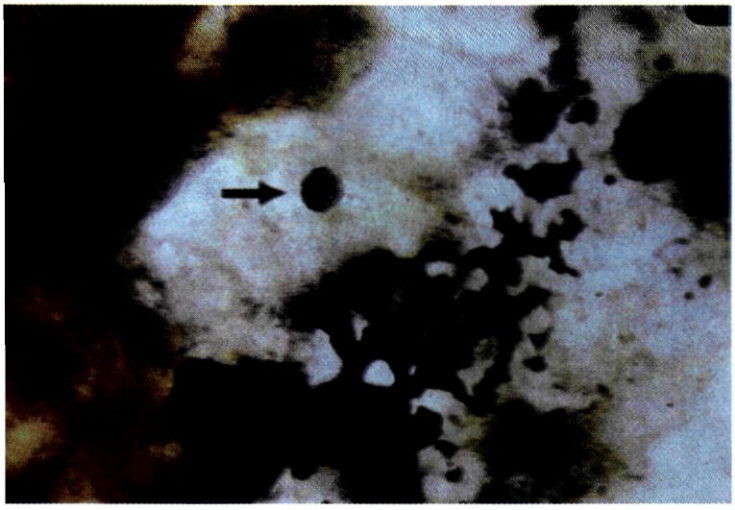


ΤΟ ΣΥΜΠΑΝ ΚΑΙ Ο ΑΝΘΡΩΠΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

ΤΟ ΣΥΜΠΑΝ ΚΑΙ Ο ΑΝΘΡΩΠΟΣ

«Καθώς οι νόμοι της βαρύτητας έχοντας ατονήσει πλέον
ο νους τραβούσε τα πουλιά κι όλο το δεντροκόμι
τ' ουρανού ως τα ύψη»
Οδ. Ελύτη ΜΑΡΙΑ ΝΕΦΕΛΗ



Εικόνα 9.1: Η εικόνα αυτή παρουσιάζει τη μεγέθυνση ενός κομματιού από το μετεωρίτη Murchinson. Το βέλος δείχνει μια μικροσκοπική ποσότητα οργανικής ύλης, πράγμα που σημαίνει ότι κάποιου είδους βιολογική εξέλιξη πιθανόν να έχει συντελεστεί και πέρα από το δικό μας πλανήτη.

Η μεγάλη πρόοδος που έχει σημειωθεί τις τελευταίες δεκαετίες στη Βιολογία και ιδιαίτερα στη Γενετική έχει αποτέλεσμα να συγκεντρωθεί αρκετή γνώση σχετικά με τη δομή, λειτουργία, αναπαραγωγή και εξέλιξη των έμβιων οργανισμών.

Το ίδιο το φαινόμενο της ζωής είναι ένα από τα άπειρα γεγονότα στην Ιστορία του Σύμπαντος και μοιάζει απόλυτα συμβιβαστό και εναρμονισμένο με τους δεδομένους φυσικούς νόμους που διέπουν τη λειτουργία του.

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγράψουμε το φαινόμενο της ζωής από τη σκοπιά της επιστήμης της Αστρονομίας.

Είμαστε μόνοι στο Σύμπαν;

Πώς θα μπορούσαμε να επικοινωνήσουμε με άλλους εξωγήϊνους πολιτισμούς, εφόσον υπάρχουν;

9.1 Η ΖΩΗ ΣΤΟ ΣΥΜΠΑΝ

ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΓΑΛΗ ΕΚΡΗΞΗ ΣΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΗΣ ΖΩΗΣ

Οι ζωντανοί οργανισμοί αποτελούνται από κύτταρα. Τα κύτταρα συγκροτούνταιι από μεγαλομόρια που οικοδομούνται από συνδυασμούς ατόμων στοιχείων, όπως υδρογόνο, άνθρακα, οξυγόνο, άζωτο, φωσφόρο κ.ά. Επιπλέον, άλλα στοιχεία, όπως αβέστιο, κάλιο, νάτριο, μαγνήσιο, σίδηρος, πυρίτιο κ.ά., είναι απαραίτητα για το σχηματισμό των οστών, των σκελετών και των κελυφών που χαρακτηρίζουν τη μορφολογία πολλών ειδών. Πώς όμως σχηματίστηκαν τα στοιχεία αυτά; Γιατί στο φλοιό της Γης υπάρχει άφθονο οξυγόνο, πυρίτιο, υδρογόνο, αργίλιο, νάτριο, σίδηρος; Έχουν ανιχνευτεί όλα τα στοιχεία που υπάρχουν στο Σύμπαν;

Η σύνθεση των στοιχείων ξεκίνησε στα πρώτα κιόλας στάδια της Ιστορίας του Σύμπαντος. Τα πρωτόνια – πυρήνες υδρογόνου– σχηματίστηκαν κατά τη φάση των αδρονίων. Μέσα στα πρώτα 1.000 δευτερόλεπτα μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, όσο η θερμοκρασία ήταν ακόμα αρκετά υψηλή, ευνοήθηκαν πυρηνικές αντιδράσεις που οδήγησαν στο σχηματισμό των ισοτόπων του υδρογόνου, ηλίου και, σε μικρότερες αναλογίες, λιθίου και βηρυλλίου. Τα βαρύτερα στοιχεία ήταν σχεδόν ανύπαρκτα στο νεαρό Σύμπαν. Η σύνθεσή τους πραγματοποιήθηκε μέσα στους αστέρες. Στους αστρικούς πυρήνες, όσο ο αστέρας βρίσκεται στην Κύρια Ακολουθία, η βαρυτική κατάρρευση ισορροπήθηκε από την πυρηνική καύση του υδρογόνου και τη μετατροπή του σε ήλιο. Με την εξάντληση του υδρογόνου η απαιτούμενη ενέργεια για την ισορροπία του αστέρα εκλύθηκε από νέες πυρηνικές αντιδράσεις, κατά τις οποίες συντέθηκαν οι πυρήνες βαρύτερων στοιχείων: οξυγόνου, νέου, μαγνησίου, πυριτίου, νικελίου, μέχρι

και του σιδήρου. Τα βαρύτερα στοιχεία του σιδήρου συντέθηκαν μέσα από αρκετά περίπλοκες πυρηνικές διαδικασίες στους καινοφανείς και στους υπερκαινοφανείς αστέρες.

Τα υλικά αυτά εκτοξεύτηκαν στη συνέχεια στο διάστημα μέσω του αστρικού ανέμου των γιγαντιαίων άστρων είτε με το σχηματισμό των πλανητικών νεφελωμάτων είτε κατά τις εκρήξεις των καινοφανών και των υπερκαινοφανών.

Ώστε τα απαραίτητα στοιχεία για τη ζωή, που συναντάμε σήμερα άφθονα στη Γη, συντέθηκαν πολύ πριν από τη γένεση του πλανητικού μας συστήματος στον πυρήνα κάποιου αστέρα που δεν υπάρχει πια. Τα άτομα των στοιχείων αυτών διαχύθηκαν, κατά την έκρηξη του αστέρα, στη μεσοαστρική ύλη. Πολλά εκατομμύρια χρόνια μετά, από την εμπλουτισμένη με τον τρόπο αυτό μεσοαστρική ύλη ξεκινά η δημιουργία του Ηλίου και του πλανητικού μας συστήματος. Κατά το σχηματισμό των πλανητών οι φυσικοί νόμοι ευνόησαν τη συγκέντρωση των βαρύτερων στοιχείων, κυρίως στους εσωτερικούς ή γήινους πλανήτες. Έτσι, η Γη, η Αφροδίτη, ο Άρης, ο Ερμής μορφοποιήθηκαν από τμήματα του πλανητικού νεφελώματος που περιείχαν σε σημαντικές αναλογίες όλα τα στοιχεία που συναντάμε στο Σύμπαν.

Είναι όμως αυτή η μοναδική προϋπόθεση για την εμφάνιση της ζωής και του ανθρώπινου πολιτισμού πάνω στη Γη; Αναμφισβήτητα όχι. Ας δούμε λοιπόν ακόμα δύο συγκυρίες, χωρίς τις οποίες η ζωή στη Γη –τουλάχιστον με τη μορφή που εμείς τη γνωρίζουμε– θα ήταν αδύνατη.

Ο σχηματισμός των πολύπλοκων μεγαλομορίων των κυττάρων και οι μηχανισμοί των βιοχημικών αντιδράσεων μπορούν να πραγματοποιηθούν σε στενά μόνο όρια θερμοκρασιών, ούτε πολύ υψηλών ούτε πολύ χαμηλών. Η προϋπόθεση αυτή σχετίζεται αφ' ενός με την απόσταση της Γης από τον Ήλιο και αφ' ετέρου με το γεγονός ότι ο Ήλιος δεν ανήκει σε κάποιο σύστημα αστέρων. Ώστε η Γη, πέρα από τους θεμέλιους λίθους, διαθέτει και τη σωστή απόσταση από την απαραίτητη για την εκδήλωση και διατήρηση της ζωής ενεργειακή πηγή, τον Ήλιο.

Τα πρώτα ίχνη ζωής πάνω στη Γη τοποθετούνται χρονολογικά περίπου ένα δισεκατομμύριο χρόνια μετά το σχηματισμό της. Για την εμφάνιση του ανθρώπου και του ανθρώπινου πολιτισμού απαιτήθηκαν ακόμα τέσσερα δισεκατομμύρια χρόνια. Βλέπουμε ότι τα χρονικά διαστήματα που χρειάστηκαν για τη γένεση των ζωντανών οργανισμών και κυρίως για την ανάπτυξη του ανθρώπινου πολιτισμού είναι συγκρίσιμα με το χρόνο της ζωής ενός αστέρα. Γνωρίσαμε όμως ότι ο χρόνος της ζωής ενός αστέρα είναι συνάρτηση της μάζας του. Οι αστέρες που έχουν μάζα πολλαπλάσια του Ηλίου, τύπου Ο και Β, έχουν όριο ζωής μόλις μερικές δεκάδες ή εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια. Το φαινόμενο της ζωής δε θα προλάβαινε να εκδηλωθεί στο πλανητικό σύστημα ενός τέτοιου τύπου αστέρα. Ο Ήλιος, αντίθετα, θα εξακολουθεί να ακτινοβολεί για περίπου πέντε δισεκατομύρια χρόνια ακόμα. Ο Ήλιος έχει, επομένως, χρόνο ζωής, μέγεθος και φασματικό τύπο που δημιούργησαν τα απαραίτητα χρονικά περιθώρια και τις κατάλληλες ενεργειακές συνθήκες για την εμφάνιση και διατήρηση της ζωής στη Γη.

Το συμπέρασμα μας είναι ότι η ζωή και ο ανθρώπινος πολιτισμός στη Γη είναι φαινόμενα που συνέβησαν κάτω από τη σύγκλιση αρκετών προϋποθέσεων.

Επιπλέον, το ίδιο το γεγονός της ανθρώπινης ύπαρξης μας βεβαιώνει ότι η ζωή είναι μια δυνατότητα απόλυτα συμβιβαστή με τους φυσικούς νόμους, σύμφωνα με τους οποίους λειτουργεί το Σύμπαν.

ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΥΠΑΡΞΗΣ ΜΗ ΓΗΙΝΗΣ ΖΩΗΣ ΣΤΟ ΣΥΜΠΑΝ

Είναι πολύ πιθανό στο Σύμπαν να υπάρχουν πλανήτες που μοιάζουν με τη Γη. Και είναι εύλογο να υποθέσουμε ότι σ' αυτούς τους πλανήτες έχουν αναπτυχθεί μορφές ζωής ανάλογες με αυτές που υπάρχουν στη Γη. Οι απόψεις των επιστημόνων διίστανται όσον αφορά το μέγεθος αυτής της πιθανότητας.

Στον υπολογισμό της εμπλέκονται μεγέθη, τα οποία μόνο κατά προσέγγιση μπορούν να εκτιμηθούν. Αν, για παράδειγμα, επιχειρήσουμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των πολιτισμών –αντίστοιχων του δικού μας– που ενδεχομένως υπάρχουν στο Γαλαξία, θα πρέπει να συνεκτιμήσουμε τους ακόλουθους παράγοντες:

- Τον αριθμό των αστέρων του Γαλαξία που είναι παρόμοιοι με τον Ήλιο.
- Την πιθανότητα οι αστέρες αυτοί να είναι διπλοί

ή πολλαπλοί ή να συνοδεύονται από ένα πλανητικό σύστημα.

- Την πιθανότητα να υπάρχει πλανήτης του συστήματος που να έχει κατάλληλη τροχιά, ώστε οι θερμοκρασίες του να κυμαίνονται στα γήινα πλαίσια.
- Την πιθανότητα να εμφανιστεί κάποιο είδος ζωής, με δεδομένες τις κατάλληλες γι' αυτό το ενδεχόμενο περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Την πιθανότητα μέσα από μια εξελικτική διαδικασία οι αρχικές μορφές ζωής να οδηγήσουν στην εμφάνιση νοημόνων όντων, που τελικά θα αναπτύξουν έναν πολιτισμό ανάλογο του δικού μας.
- Το χρονικό διάστημα που είναι πιθανό να επιβιώσει ένας τέτοιος πολιτισμός και να μην καταστραφεί σε μικρό χρονικό διάστημα ολοκληρωτικά είτε από εξωγενείς αιτίες είτε από τις δικές του αυτοκαταστροφικές λειτουργίες.

Πολλοί από τους παράγοντες αυτούς μπορούν να υπολογιστούν με κάποια ακρίβεια. Για άλλους, όμως, δε διαθέτουμε κανένα επιστημονικά τεκμηριωμένο δεδομένο, κι έτσι μόνο υποκειμενικές προσεγγίσεις μπορούν να γίνουν.

Πέρα από αυτές τις θεωρητικές επισημάνσεις έχει αναπτυχθεί στις ΗΠΑ εδώ και χρόνια ένα πρόγραμμα έρευνας για την ανίχνευση εξωγήϊνων πολιτισμών που ονομάζεται SETI (Search for Extraterrestrial Inteligence). Το πρόγραμμα αυτό στηρίζεται στην υπόθεση ότι: «Αν υπάρχουν εξωγήϊνοι πολιτισμοί σε απόσταση μερικών δεκάδων ή εκατοντάδων ετών φωτός από τη Γη, είναι πιθανό να επικοινωνήσουμε μαζί τους με ραδιοκύματα κατάλληλης συχνότητας». Έτσι έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα ραδιοτηλεσκοπίων και κεραιών, με στόχο την εκπομπή και τη λήψη σημάτων, στα οποία θα μπορούσε κανείς να διακρίνει κάποιο μήνυμα.

Μέχρι στιγμής ούτε μέσω του προγράμματος SETI ούτε από άλλες αξιόπιστες πηγές έχουν υπάρξει έστω κάποιες ενδείξεις για την ύπαρξη εξωγήινων πολιτισμών.

Τα τελευταία χρόνια σημαντικές έρευνες γίνονται για την ανακάλυψη άλλων πλανητικών συστημάτων, παρόμοιων με το δικό μας. Μέχρι τώρα έχουν ανακαλυφτεί περισσότεροι από 10 αστέρες, γύρω από τους οποίους υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να περιφέρονται ένας ή περισσότεροι πλανήτες. Μένει να εξακριβωθεί αν οι συνθήκες σ' αυτούς τους πλανήτες είναι ευνοϊκές για την ανάπτυξη κάποιας μορφής ζωής. Οι έρευνες συνεχίζονται.

9.2 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΕΙΔΟΥΣ

Η κυριαρχία του ανθρώπου πάνω στη Γη, ιδιαίτερα κατά τον τελευταίο αιώνα, έγινε απόλυτη και ολοκληρωτική. Η εξουσιαστική δράση του ανθρώπου πάνω στο γήινο οικοσύστημα μεγεθύνθηκε υπέρμετρα με την ανάπτυξη και ασύνετη χρήση της τεχνολογίας.

Ο σύγχρονος πολιτισμός, έχοντας αρνηθεί σε μεγάλο βαθμό κάθε αξία πανανθρώπινη και διαχρονική, έχει παγιδευτεί σε μια χρηστική, συμφεροντολογική και κοντόφθαλμη λογική: Αξίζει εκείνο που αποφέρει βραχυπρόθεσμα κέρδος, και καθετί που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ικανοποιηθούν εμφυτευμένες ανάγκες. Από τους κανόνες του παιχνιδιού έχουν εκλείψει σχεδόν παντελώς εκείνοι οι περιορισμοί που αφορούν τις πραγματικές ανάγκες και το σεβασμό του συνανθρώπου και, πολύ περισσότερο, του φυσικού περιβάλλοντος.

Όλα αυτά δε μένουν, βέβαια, χωρίς να πληρωθεί βαρύ αντίτιμο. Ο υπερκαταναλωτισμός και η υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων του πλανήτη, ο υπερπληθυσμός και η σοβαρή διατάραξη του οικοσυστήματος εγκυμονούν τεράστιους κινδύνους για το μέλλον του πολιτισμού μας.

Θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν κάποια από τα προβλήματα αυτά, αν ήταν εφικτός ο εποικισμός του διαστήματος ή η ίδρυση αποικιών σε άλλα πλανητικά συστήματα του Γαλαξία;

Μια τέτοια προοπτική δεν αντιμετωπίζει την ουσία του προβλήματος, παρέχει όμως στον άνθρωπο τη δυνατότητα να ονειρεύεται και να ελπίζει σε ένα καλύτερο μέλλον.

Η επιβίωση ή ο αφανισμός του πολιτισμού μας είναι δυνατότητες που συνδέονται αποκλειστικά με τον τρόπο σκέψης και με τις σχέσεις των ανθρώπων μεταξύ τους και με το φυσικό τους περιβάλλον. Αν θέλουμε η Γη να είναι ένας φιλόξενος τόπος για μας και τις επόμενες γενιές, θα πρέπει να κατανοήσουμε τα σήματα του κινδύνου καταστροφής της και να επιλέ-

ξουμε έναν περισσότερο ανθρώπινο και φυσικό τρόπο ζωής. Ας θεωρήσουμε τη Γη ως μια εξέδρα στο Διάστημα, πάνω στην οποία αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες και επιστήμες με στόχο την ευτυχία του ανθρώπου και την αναζήτηση της αλήθειας για τον γύρω μας φυσικό κόσμο.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Οι πυρήνες των ατόμων των στοιχείων, από τα οποία αποτελούνται και οι ζωντανοί οργανισμοί, σχηματίστηκαν στα πρώτα στάδια της Ιστορίας του Σύμπαντος και στους πυρήνες των αστέρων.
- Η εμφάνιση ζωής σε ένα πλανητικό σύστημα προϋποθέτει την ικανοποίηση πολλών παραγόντων. Ο τύπος του αστέρα του συστήματος και η ύπαρξη ενός πλανήτη σε κατάλληλη απόσταση απ' αυτόν είναι δύο από τους πιο βασικούς.
- Το φαινόμενο της ζωής είναι απόλυτα συμβιβαστό με τους φυσικούς νόμους. Ωστόσο, δε γνωρίζουμε πώς έγινε η μετάβαση από την ανόργανη στη ζωντανή ύλη.
- Μέχρι σήμερα δεν έχει ανιχνευτεί ζωή που να προέρχεται από άλλα εκτός της Γης σημεία του Σύμπαντος.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Που και πώς σχηματίστηκαν τα βαρύτερα στοιχεία που υπάρχουν στη Γη; Πώς βρέθηκαν σ' αυτήν;

2. Μια μετατόπιση της Γης από την τροχιά της ποιες συνέπειες θα είχε, κατά τη γνώμη σου, στη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη;

3. Θα μπορούσε να εμφανιστεί ζωή σε έναν πλανήτη ενός αστέρα τύπου Ο ή Β; Τεκμηρίωσε την απάντησή σου.

4. Αναδιατύπωσε με δικά σου λόγια την πρόταση: «Το φαινόμενο της ζωής είναι μια δυνατότητα που εμπεριέχεται στους συγκεκριμένους φυσικούς νόμους με βάση τους οποίους λειτουργεί το Σύμπαν.»

5. Πολλοί υποστηρίζουν ότι ένας πολιτισμός με τεχνολογία λίγο ανώτερη της δικής μας θα μπορούσε να εποικίσει ολόκληρο το Γαλαξία μέσα σε λιγότερο από 10 εκατομύρια χρόνια, χρονικό διάστημα μικρό σε σχέση με τα 5 δισεκατομμύρια χρόνια που χρειάζονται για την ανάπτυξή του. Δεδομένου ότι δεν έχουμε ακόμα έρθει σε επαφή με κάποιον εξωγήινο πολιτισμό, σε τι συμπεράσματα οδηγούμαστε;

6. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται το χρονικό διάστημα που είναι πιθανό να επιβιώσει ο ανθρώπινος πολιτισμός; Ποιά είναι η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του;

7. Τι είναι και σε τι αποβλέπει το πρόγραμμα SETI; Ποια είναι τα μέχρι τώρα αποτελέσματά του;

8. Ποια είναι τα μέχρι τώρα αποτελέσματα της έρευνας για την ύπαρξη άλλων πλανητικών συστημάτων;